



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

ANALÝZA TRANSPORTU VZDUŠNÉ VLHKOSTI V OBALOVÝCH KONSTRUKCÍCH BUDOV

ANALYSIS OF HUMID AIR TRANSPORT IN THE BUILDING ENVELOPE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

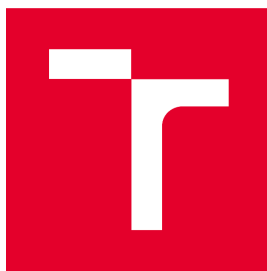
Bc. JAN TOMÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ANTONÍN ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jan Tománek
Název	Analýza transportu vzdušné vlhkosti v obalových konstrukcích budov
Vedoucí práce	Ing. Antonín Žák, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

PODKLADY A LITERATURA

- (1) Směrnice děkana č. 19/2011 s dodatkem a přílohami;
- (2) Katalogy a odborná literatura;
- (3) Stavební zákon č. 183/2006 Sb. ve znění zákona č. 350/2012 Sb.;
- (4) Vyhláška č. 499/2006 Sb. ve znění vyhlášky č. 62/2013 Sb.;
- (5) Vyhláška č. 268/2009 Sb.;
- (6) Vyhláška č. 398/2009 Sb.;
- (7) Platné normy ČSN, EN;
- (8) Manuál software WUFI

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zadání:

Analýza transportu vzdušné vlhkosti v obalových konstrukcích budov

Cíle:

Rešerše současného stavu poznání problematiky.

Výběr správné metodiky výzkumu. V práci budou provedeny stacionární a nestacionární počítačové simulace pro analýzu transportu vlhkosti ve stavebních konstrukcích. Dále bude provedeno experimentální měření na modelech konstrukcí.

Teoretické výsledky z počítačových simulací budou validovány experimentem.

Výsledky z teoretické i experimentální části budou porovnány s normovými hodnotami a bude provedena diskuze výsledků.

Na závěr bude provedeno shrnutí poznatků a doporučení pro praxi.

Výstupy:

Práce bude tvořena hlavní textovou částí a přílohami. Součástí přílohy budou výsledky experimentu.

Součástí práce bude výkresová část ve které student zpracuje min. 5 ks konstrukčních detailů a návrh konstrukčního systému objektu. Konstrukční detaily a vybraný objekt nebudou mít přímou souvislost s experimentální částí diplomové práce.

VŠKP bude mít strukturu dle manuálu umístěného na www.fce.vutbr.cz/PST/Studium.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Antonín Žák, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou průběhu teplot a vlhkostí ve stavebních konstrukcích plochých střech s vlivem i bez vlivu slunečního záření. Bylo nutno nastudovat a ověřit vlastnosti stavebních materiálů, fyzikální podstatu vlivu slunečního záření na stavební konstrukce a transportní mechanismy vlhkosti.

Teoretická část popisuje základní fyzikální teorii k řešené problematice, podstatu a dělení slunečního záření, popis tepelně vlhkostních vlastností stavebních materiálů a výpočtové metody stanovení vlhkosti v konstrukcích dle platných norem.

Praktická část se zabývá popisem práce v softwarech DEKSOFT – Tepelná technika 1D a v softwaru WUFI 2D, popisem jednotlivých modelů a analýzou dosažených výsledků. V závěru praktické části jsou validovány dosažené teoretické poznatky analýzou získaných dat z praktického modelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plochá střecha, sluneční záření, šíření tepla, šíření vlhkosti, stacionární počítačové simulace, nestacionární počítačové simulace.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the analysis of temperature and humidity in the construction of flat roofs with influence even without influence of solar radiation. It was necessary to study and verify the properties of building materials, the physical nature of the influence of solar radiation on building structures and the transport mechanisms of moisture.

The theoretical part describes the basic physical theory on solved problems, the essence and division of solar radiation, the description of thermal moisture properties of building materials and the calculation method of determination of moisture in structures according to valid standards.

Practical part deals with description of work in software DEKSOFT - Thermal technology 1D and WUFI 2D software, description of individual models and analysis of achieved results. At the end of the practical part the achieved theoretical knowledge is validated by analyzing the obtained data from the practical model.

KEYWORDS

Flat roof, solar radiation, heat transport, moisture transport, stationary computer simulation, non-stationary computer simulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jan Tománek *Analýza transportu vzdušné vlhkosti v obalových konstrukcích budov*. Brno, 2017. 153 s., 79 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Antonín Žák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 12. 2017

Bc. Jan Tománek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a poskytnutí odborných a velice cenných rad při zpracování této diplomové práce. Mé další poděkování patří Ing. Sylvii Svobodové za konzultace k softwaru WUFI 2D a za pomoc při analýze výsledků. Dále bych chtěl poděkovat firmě Atelier DEK za poskytnutí prostorů v experimentální budově pro realizaci modelů a zapůjčení měřicí techniky. Také bych chtěl poděkovat technikům z firmy Atelier DEK za pomoc s vybudováním experimentálních modelů. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu při mém vysokoškolském studiu.

V Brně dne 28. 12. 2017

Bc. Jan Tománek
autor práce

1. ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	7
3. ZVOLENÁ METODIKA ZPRACOVÁNÍ	8
3.1. Literární rešerše	8
3.2. Analýza vlastností stavebních materiálů	8
3.3. Analýza zabudování stavebních materiálů do jednotlivých skladeb	9
3.4. Analýza fyzikálních dějů	9
3.5. Analýza zjednodušených fyzikálních modelů	9
3.6. Podrobné dynamické simulace	9
3.7. Experimentální měření v in-situ	10
3.8. Syntéza dosažených výsledků	10
3.9. Analýza chyb použitých metod a získaných výsledků	10
4. ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ TEORIE K ŘEŠENÉ PROBLEMATICE	11
4.1. Způsoby přenosu tepla ve stavebních konstrukcích	11
4.1.1. Šíření tepla vedením	11
4.1.2. Ustálený teplotní stav	12
4.1.3. Neustálený teplotní stav	13
4.1.4. Tepelný tok	14
4.1.5. Součinitel prostupu tepla	15
4.1.6. Newtonův zákon ochlazování	15
4.1.7. Šíření tepla prouděním	17

4.1.8. Šíření tepla sáláním	18
4.2. Vlhkost ve stavebních konstrukcích	22
4.2.1. Difúze vodních par	24
4.2.2. Transport kapalin	27
4.3. Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů	31
4.3.1. Objemová hmotnost	31
4.3.2. Pórovitost	31
4.3.3. Hmotnostní vlhkost	32
4.3.4. Objemová vlhkost	32
4.3.5. Absolutní vlhkost	32
4.3.6. Relativní vlhkost	33
4.3.7. Měrná tepelná kapacita	33
4.3.8. Součinitel tepelné vodivosti	34
4.3.9. Součinitel teplotní vodivosti	35
4.3.10. Množství tepla	36
4.3.11. Součinitel difúzní vodivosti	36
4.3.12. Faktor difúzního odporu	37
4.3.13. Ekvivalentní difúzní tloušťka	37
4.4. Slunce a sluneční energie	38
4.4.1. Obecně o slunci	38
4.4.2. Sluneční záření	39
4.4.3. Poloha Slunce na obloze	51
4.4.4. Měření slunečního záření	55
4.4.5. Vlivy ovlivňující sluneční záření	57

5. VÝPOČTOVÉ METODY STANOVENÍ VLHKOSTI V KONSTRUKCÍCH DLE PLATNÝCH NOREM 60

5.1. Výpočet dle normy ČSN 73 0540-4	60
5.1.1. Okrajové podmínky	60
5.1.2. Difúzní odpor konstrukce	60
5.1.3. Parciální tlak vodní páry v konstrukci	62
5.1.4. Kondenzace vodní páry v konstrukci – tlaková podmínka	64

5.1.5. Oblast kondenzace.....	65
5.1.6. Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry.....	66
5.2. Výpočet dle normy ČSN EN ISO 13788.....	68
5.2.1. Okrajové podmínky.....	68
5.2.2. Zahájení výpočtu, počáteční měsíc.....	69
5.2.3. Rozdělení stavební konstrukce, tepelná odpor, ekvivalentní difúzní tloušťka	69
5.2.4. Rozložení teploty a parciálního tlaku nasycené vodní páry	70
5.2.5. Výpočet zkondenzovaného množství.....	71
5.2.6. Vypařování	72
5.2.7. Posouzení konstrukcí.....	73
5.2.8. Požadavky na šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích	74
5.3. Numerické metody – software WUFI 2D	75
5.3.1. Modelování transportních jevů.....	75
5.3.2. Databáze okrajových podmínek	76
5.3.3. Databáze materiálů.....	76
5.3.4. Simulování tepelně vlhkostních jevů	77
5.4. Práce se softwarem DEKSOFT - Tepelná technika 1D.....	77
5.4.1. Okrajové podmínky.....	77
5.4.2. Vlastnosti materiálů	81
5.5. Práce se softwarem WUFI 2D	82
5.5.1. Geometrie modelu	82
5.5.2. Výpočetní síť.....	83
5.5.3. Databáze materiálů.....	84
5.5.4. Vstupní okrajové podmínky.....	85
5.5.5. Okrajové podmínky	86
5.5.6. Povrchové koeficienty	86
5.5.7. Klimatické podmínky.....	88
5.5.8. Výpočetní parametry.....	90

6. TEORETICKÁ TEPELNĚ VLHKOSTNÍ ANALÝZA 92

6.1. Zkoumané skladby plochých střech 92

6.1.1. Vnější exponované ploché střechy 92

6.1.2. Ploché střechy chráněné prostorem před vnějšími vlivy..... 93

6.2. Formulace okrajových podmínek 95

6.2.1. Průběh teplot a relativních vlhkostí ve vnitřním prostředí..... 96

6.2.2. Průběh teplot a relativních vlhkostí ve vnějším prostředí..... 97

6.2.3. Průběh teplot a relativních vlhkostí v prostředí pod střechou . 98

6.2.4. Průběh teplot a relativních vlhkostí v exteriéru 98

6.2.5. Globální sluneční záření..... 99

6.3. Analýza výsledků dynamických simulací u vnějších exponovaných plochých střech 101

6.3.1. Analýza skladby S01 101

6.3.2. Analýza skladby S02 103

6.3.3. Analýza skladby S03 105

6.4. Analýza výsledků dynamických simulací u plochých střech chráněných prostorem před vnějšími vlivy 107

6.4.1. Analýza skladby S04 107

6.4.2. Analýza skladby S05 110

6.5. Analýza výsledků ze softwaru DEKSOFT..... 112

6.6. Srovnání výsledků ze softwaru DEKSOFT a WUFI 2D..... 117

7. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ V IN-SITU 118

7.1. Lokace a umístění modelů 118

7.2. Sestavení modelů 118

7.3. Měřicí zařízení..... 124

7.4. Syntéza dosažených výsledků u všech skladeb..... 126

7.4.1. Vliv slunečního záření 126

7.4.2. Vliv zabudované vlhkosti a difúzních vlastností použitých materiálů	126
7.4.3. Vliv závislosti součinitele tepelné vodivosti λ na množství vlhkosti v konstrukci	126
8. VALIDACE EXPERIMENTÁLNÍCH MODELŮ S DYNAMICKÝMI SIMULACEMI.....	127
8.1. Validace modelu S01	127
8.2. Validace modelu S02	129
8.3. Validace modelu S03	130
8.4. Validace modelu S04	131
8.5. Validace modelu S05	132
9. ZÁVĚRY PRO TECHNICKOU PRAXI.....	134
10. DALŠÍ MOŽNOSTI VÝZKUMU	135
11. ZHODNOCENÍ VYTYČENÝCH CÍLŮ	136
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	137
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	142
SEZNAM PŘÍLOH.....	146

1. ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Diplomová práce se zaměřuje na transport vlhkosti v plochých jednoplášťových střeších v závislosti na různých vnějších a vnitřních okrajových podmínkách. Při analýze jsou použity stacionární i nestacionární metody počítačové simulace, jejichž výsledky jsou následně porovnány s normovými hodnotami. U stacionární počítačové simulace je použit software Deksoft – Tepelná technika 1D, který vychází z výpočetních postupů dané normou ČSN EN ISO 13788 a ČSN 73 0540, tzv. Glaserovy metody. Tato metoda opomíjí mnoho dalších jevů, které mají zásadní vliv na průběh teplot a vlhkosti ve stavebních konstrukcích (např.: dynamické materiálové charakteristiky, pohyb kapalně vlhkosti, zabudovaná vlhkost, působení solárního a dlouhovlnného záření apod.). U nestacionární počítačové simulace je použit software WUFI 2D, který simuluje dynamické chování dvojrozměrného šíření tepla a vlhkosti ve stavebních konstrukcích. Výsledky těchto dynamických simulací jsou validovány experimentálním měřením na vytvořených modelech.

Tato diplomová práce je členěná na dvě části – část teoretická a praktická. V první části je popsána základní fyzikální teorie k řešené problematice, podstata a dělení slunečního záření, popis tepelně vlhkostních vlastností stavebních materiálů a výpočtové metody stanovení vlhkosti v konstrukcích dle platných norem.

V experimentální části jsou popsány okrajové podmínky pro hodnocení teoretických modelů u stacionárních i nestacionárních počítačových simulací. Dále je zde provedena analýza naměřených dat, které jsou validovány s daty z experimentálních modelů. V závěru bude popsán přínos pro praxi a možnost dalšího postupu a vývoje.

2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této práce je porovnání transportu vlhkosti v konstrukcích plochých střech dle výpočetních postupů vyvinutých v 60. letech 20. století ze kterých vycházejí normy ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540 tzv. Glaserových metod a mnohem sofistikovanějších dynamických simulací rozšířené o poznatky až do nynější doby. Zejména se jedná o následující vlivy: orientaci stavební konstrukce vůči světovým stranám, sklon konstrukce vůči horizontální rovině, vliv barvy vnějšího povrchu stavební konstrukce na šíření tepla, akumulaci tepla v konstrukci, závislost součinitele tepelné vodivosti na množství vlhkosti v materiálu, akumulaci vlhkosti v konstrukci, závislost faktoru difúzního odporu na množství vlhkosti v materiálu, šíření kapalně vlhkosti v porézních materiálech a absorpci hnaného deště na vnější povrch stavební konstrukce. Těchto cílů jsem se snažil docílit následujícím postupem:

1. teoretickým popsáním dané problematiky
2. výběrem správných materiálových vlastností použitých materiálů
3. výběrem správné metodiky hodnocení
4. aplikací poznatků do stavební praxe

3. ZVOLENÁ METODIKA ZPRACOVÁNÍ

Pro dosažení výše uvedených cílů práce byly využívány tyto metody výzkumu:

1. literární rešerše
2. analýza vlastností stavebních materiálů
3. analýza zabudování stavebních materiálů do jednotlivých skladeb
4. analýza fyzikálních dějů
5. analýza zjednodušených fyzikálních modelů
6. podrobné dynamické simulace
7. experimentální měření v in-situ
8. syntéza dosažených výsledků
9. analýza chyb použitých metod a získaných výsledků

3.1. Literární rešerše

Na začátku práce byla provedena literární rešerše dostupné literatury a informací, která pomohla k bližšímu porozumění zkoumané problematiky. Tato práce navazuje na dostupné poznatky a rozšiřuje je o poznatky vlastní.

3.2. Analýza vlastností stavebních materiálů

Pro správné pochopení chování stavebních materiálů bylo nutno nastudovat výrobní procesy, složení a vlastnosti stavebních materiálů používaných ve skladbách plochých střech. Tyto důležité informace jsou uvedeny v příloze A a B.

3.3. Analýza zabudování stavebních materiálů do jednotlivých skladeb

Součástí této práce je popis a analýza běžného způsobu zabudování stavebních materiálů do skladby plochých střech.

3.4. Analýza fyzikálních dějů

Pro popsání zkoumané problematiky byla provedena analýza fyzikálních dějů. Ty, které jsou důležité pro pochopení řešené problematiky, jsou uvedeny v kapitole *4. Základní fyzikální teorie k řešené problematice*.

3.5. Analýza zjednodušených fyzikálních modelů

Pro porozumění souvislostí bylo nutné začít od zjednodušených fyzikálních modelů. Bylo nutné idealizovat okrajové podmínky okolního prostředí, aby bylo možné zkoumat pouze požadované parametry.

3.6. Podrobné dynamické simulace

K získání přesnějších výsledků a zjištění reálnějšího vlivu jednotlivých faktorů ovlivňující průběh teplot a vlhkosti v konstrukcích plochých střech, bylo nutné provést komplexní dynamické simulace jednak s virtuálními okrajovými podmínkami, tak s uvažováním reálných okrajových podmínek získaných experimentálním měřením.

3.7. Experimentální měření v in-situ

Aby bylo možné porovnávat výsledky a ověřit správnost dynamického simulování, bylo provedeno experimentální měření v in-situ. Pro měření byly použity měřicí přístroje Atelieru DEK detailně popsané v subkapitole 7.3 *Měřicí zařízení*.

3.8. Syntéza dosažených výsledků

Syntéza dosažených výsledků propojuje výsledky teoretických výpočtů a experimentálního výzkumu. Poskytuje přehled a formuluje poznatky pro praxi.

3.9. Analýza chyb použitých metod a získaných výsledků

V této části je provedena analýza jednotlivých metod. Hlavně se zaměřuji na přesnost experimentálního měření a podrobnou výstupů dynamických simulací.

4. ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ TEORIE K ŘEŠENÉ PROBLEMATICE

4.1. Způsoby přenosu tepla ve stavebních konstrukcích

Teplo se může šířit v libovolném prostředí pouze tehdy, pokud na různých místech tohoto prostředí jsou rozdílné teploty. Teplo potom postupuje z míst s vyšší teplotou do míst, kde je teplota nižší a dochází zde k vyrovnání teplot. Teplo se může šířit třemi základními způsoby [1] [2] [3] [4]:

- vedením (kondukcí),
- prouděním (konvekcí),
- sáláním (radiací).

Šíření tepla se reálně nekoná pouze jediným ze způsobů, ale jde především o jejich kombinaci.

4.1.1. Šíření tepla vedením

Přenos tepla vedením v pevných látkách je transportem tepelné energie ve směru klesající teploty. Děje se tak z toho důvodu, že teplejší, rychleji kmitající molekuly, předávají svou kinetickou energii sousedním, pomaleji kmitajícím molekulám. V procesu vyrovnávání teplot různě zahřátých částí tělesa vzniká tok tepla v důsledku tepelné vodivosti. Teplo se za určitých podmínek šíří také v kapalinách a plynech. Průběh vedení tepla určuje tzv. tepelnou vodivost [2] [5].

Vedení tepla lze z hlediska dynamiky procesu rozdělit na:

- ustálené (stacionární) vedení tepla,
- neustálené (nestacionární) vedení.

4.1.2. Ustálený teplotní stav

Pokud se teplota s časem nemění $d\theta/dt=0$, jedná se o teplotní pole ustálené – stacionární. Ustálený teplotní stav je zjednodušující předpoklad, který se používá v tepelně technických výpočtech. Tento předpoklad však nevystihuje skutečnou situaci. Vychází z předpokladu, kdy stavební konstrukce je oddělena dvěma prostředími s konstantními teplotami, které se v čase nemění a platí, že hustota tepelného toku je přímo úměrná rozdílu teplot vzduchu [3].

1. Fourierův zákon

Matematický popis jednorozměrného stacionárního vedení tepla byl definován Jeanem Baptistem Josephem Fourierem, který v roce 1807 v Grenoblu poprvé formuloval zákon vedení tepla, později po něm pojmenovaný.

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = -\lambda \text{ grad}\theta \quad (1)$$

kde je:	q	hustota tepelného toku kolmá na směr proudění [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
	λ	součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
	θ	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
	t	teplotní rozdíl [K]
	x	směr proudění tepelného toku (souřadnice) [m]

Zákon definuje lineární vztah hustoty tepelného toku q a gradientu teploty t ve směru x . Konstantou úměrnosti tohoto vztahu je součinitel tepelné vodivosti λ . Fourierův zákon je založen čistě na empirickém pozorování a není odvozen z jiných fyzikálních principů. V technické praxi je často používán při výpočtech tepelné bilance a patří tedy k základním vztahům používaných v tepelné technice.

4.1.3. Neustálený teplotní stav

Jestliže je teplota funkcí času $\theta = f(t)$, pak $d\theta/dt \neq 0$ a teplotní pole je neustálené, což charakterizuje neustálený – nestacionární teplotní stav přenosu tepla, u kterého jsou teploty v jednotlivých bodech stavební konstrukce dané svou polohou a mění se v závislosti na čase. Pokud umístíme nějaké těleso s vyšší teplotou doprostřed prostoru, dochází k vzájemnému vyrovnání teplot. Postupně se zahřívají povrchové vrstvy ostatních částí konstrukce a pak i jejich vnitřní vrstvy. Po určitém čase se teploty vyrovnají teplotou prostředí a nastane teplotní rovnováha [2] [5].

2. Fouriérův zákon

V roce 1822 představil Fourier v Paříži rovnici kontinuity nestacionárního tepelného toku:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

kde je:	t	teplota [K]
	τ	čas [s]
	λ	součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	ρ	objemová hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
	c	měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	x	vzdálenost [m]

vyjadřující tepelnou bilanci elementárního objemu, předpokládající, že nárůst tepelného toku do elementu, který z něj není odveden, vede k nárůstu akumulovaného tepla a tedy i teploty elementu. Výše popsané vztahy je možné aplikovat pro řešení jednorozměrného nestacionárního vedení tepla v pevných látkách a stagnantních tekutinách. Původní vztah byl značně idealizovaný, proto v průběhu uplynulých dvou staletí byl přístup doplněn o zbývající dva geometrické rozměry, vnitřní zdroj tepla, transformován do jiných souřadných systémů, řešení pro teplotně závislé tepelné konstanty. Můžeme ho tedy vyjádřit i v doplněném tvaru:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) + S \quad (3)$$

kde je:	t	teplota [K]
	τ	čas [s]
	$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$	součinitel tepelné vodivosti v různých směrech [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	ρ	objemová hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
	c	měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	S	vnitřní zdroj tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$]

Doplněná rovnice už blíže popisuje realitu, ale přesto nezohledňuje všechny možné problémy a ukazuje tak komplexnosti problémů spojených s nestacionárním vedením tepla.

Tab. 1. Přehled hodnot materiálových vlastností vybraných materiálů [5]

Materiál	$\lambda [\text{W}/(\text{m K})]$	$\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$	$c [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$	$\alpha \cdot 10^{-6} [1/\text{K}]$
ocel	80 - 90	7800	0,4 - 0,5	12
hliník	229	2700	0,89	23,8
dřevo	0,7 - 1,6	500 - 1000	1,0 - 1,5	5 – 55
cihla	0,2 - 0,8	1400 - 2100	1,0 - 1,5	3 – 8
beton	0,5 - 0,8	1800 - 2200	0,7 - 1,1	5 – 10
sklo	0,75	2400 - 4700	0,7 - 0,9	3 – 9
led	2,2	917	2,09	-
voda	0,55 - 0,75	1000	4,2	0,13 - 0,18
suchý vzduch	0,025 - 0,03	1,0 - 1,45	1,0 - 1,05	-

4.1.4. Tepelný tok

Tepelný tok Φ je definován jako množství tepla přenesené látkou za jednotku času, je tedy definován vztahem:

$$\Phi = \frac{Q}{\tau} = q \cdot A = \lambda \cdot A \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (4)$$

kde je:	Φ	tepelný tok [W]
	Q	teplo [J]
	q	hustota tepelného toku [W.m ⁻²]
	τ	čas [s]
	λ	součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	A	plocha [m ²]
	Δt	rozdíl teplot [K]
	Δx	vzdálenost [m]

4.1.5. Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U udává celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami, které jsou součástí konstrukce. Je definován vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_e + R + R_i} \quad (5)$$

kde je:	U	součinitel prostupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]
	R_T	tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí) [m ² .K.W ⁻¹]
	R_e	tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla na straně exteriéru [m ² .K.W ⁻¹]
	R	tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla konstrukcí [m ² .K.W ⁻¹],
	R_i	tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla na straně interiéru [m ² .K.W ⁻¹]

4.1.6. Newtonův zákon ochlazování

Experimentem bylo dokázáno, že na rozhraní mezi pevnou látkou a okolním fluidním prostředím není teplotní profil $t(x)$ lineární. Je tedy zřejmé, že se na přenosu tepla z pevné látky do fluidního prostředí podílí i mechanismy proudění a záření. Isaac Newton tedy zavedl lineární aproximaci, díky které se výpočty teplotního profilu na rozhraní značně

zjednodušily. Hustota tepelného toku na rozhraní může být vyjádřena vztahem:

$$q = \lambda_f \frac{\Delta t}{d} = h \cdot \Delta t \quad (6)$$

kde je:	q	hustota tepelného toku [W.m ⁻²]
	λ_f	součinitel tepelné vodivosti se započtením vlivu konvekce [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	Δt	rozdíl teplot [K]
	d	tloušťka přechodové vrstvy [m]
	h	součinitel přestupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]

Výše uvedená rovnice je známá pod názvem „Newtonův ochlazovací zákon“. Provedená linearizace nepředstavuje klasický mechanismus vedení tepla, jelikož zahrnuje v součiniteli přestupu tepla i přenos tepla konvekcí. Pro zahrnutí i záření se určí součinitel přestupu tepla h_{tot} vztahem:

$$h_{tot} = h + h_r \quad (7)$$

kde je:	h_{tot}	součinitel přestupu tepla zahrnující vliv záření [W.m ⁻² .K ⁻¹]
	h	součinitel přestupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]
	h_r	součinitel přestupu tepla vlivem radiace [W.m ⁻² .K ⁻¹]

Součinitel přestupu tepla U konstrukce vypočítáme s uvažováním přestupu tepla na vnějším a vnitřním povrchu ze vztahu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{d_j}{\lambda_j} \right) + \frac{1}{h_i}} \quad (8)$$

kde je:	U	součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
	h_e	součinitel přestupu tepla na straně exteriéru [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
	h_i	součinitel přestupu tepla na straně interiéru [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
	d_j	tloušťka j-té vrstvy [m],
	λ_j	součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

4.1.7. Šíření tepla prouděním

Šíření tepla prouděním není možné u pevných látek, uplatňuje se pouze u tekutin (kapalin a plynů), případně u plazmatu. Pohybem hmoty dochází k vzájemnému pohybu jednotlivých částí, které mají odlišnou teplotu. Přenášením tepla v pohybujícím se prostředí je složitější než v nepohyblivém prostředí [2] [5].

Volné proudění je pohyb kapaliny či plynu, který je způsoben pouze rozdíly v hustotě látky vyvolanými její rozdílnou teplotou. Nucené proudění je, pokud při výměně tepla je použit mechanický pohyb (např. pohyb vzduchu pomocí ventilátorů).

Rozlišují se dva případy proudění:

- laminární
- turbulentní

Laminární (neboli proudnicové) proudění je způsob viskózních kapalin, při kterém jsou dráhy jednotlivých částic kapaliny navzájem rovnoběžné. Částice se pohybují ve vzájemně rovnoběžných vrstvách, aniž by se navzájem mísily. Laminární proudění zůstává zachováno až do tzv. kritické rychlosti, kdy se mění na proudění turbulentní [5].

Turbulentní proudění je způsob, při kterém jednotlivé částice kapaliny přecházejí různými vrstvami kapaliny, čímž dochází k promíchávání těchto vrstev.

Platí Newtonův zákon:

$$q_k = h_k(\theta_s - \theta_a) \quad (9)$$

kde je:	q_k	hustota tepelného toku proudícího mezi vzduchem a povrchem konstrukce [W.m ⁻²]
	h_k	součinitel přestupu tepla při proudění [W. m ⁻² . K ⁻¹]
	θ_s	teplota povrchu konstrukce při proudění [°C]
	θ_a	teplota vzduchu [°C]

4.1.8. Šíření tepla sáláním

Na rozdíl od šíření tepla vedením a prouděním představuje šíření tepla sáláním individuální druh šíření tepla. Při šíření tepla sáláním jde o přenos elektromagnetických vln s délkou 760 až 3000 nm, která se šíří v prostoru rychlostí světla. Tepelné sálání rozdílných těles je určované jejich teplotním stavem [5].

Ideální těleso, které má při dané teplotě maximální sálavou schopnost, se nazývá absolutně černé těleso. Pokud těleso odrazí veškerou dopadenou energii, má koeficient odrazivosti $R = 1$ a nazýváme jej absolutně bílým tělesem. Pokud těleso pohltí veškerou dopadenou energii má, koeficient pohltivosti $A = 1$ a nazýváme jej absolutně černým tělesem. Pokud veškerá energie volně projde tělesem má, koeficient propustnosti $D = 1$ a nazýváme jej diatermním tělesem. Sálavá energie všech skutečných těles představuje jen určitou část energie absolutně černého tělesa [2].

Převážná většina materiálů, včetně stavebních izolací, používaných ve stavebnictví disponuje povrchem s vysokou pohltivostí respektive emisivitou pro tepelné sálání. Skupina ušlechtilých kovů, měď, stříbro, zlato a dále hliník, prvek ze skupiny přechodných neželezných kovů, vykazují vysoké hodnoty odrazivosti tepelného sálání respektive velmi nízké hodnoty emisivity. Tyto kovy jsou v různých vhodných aplikacích využívány jako reflexní izolace [5].

Celkové sálání tepla dopadající na těleso:

$$Q_O = Q_A + Q_E + Q_T \quad (10)$$

kde je:	Q_O	celkový sálavý tepelný tok dopadající na konstrukci
	Q_A	část energie konstrukcí pohlcená
	Q_E	část energie konstrukcí odražená
	Q_T	část energie konstrukcí procházející

4.1.8.1. Pohltivost (absorbce)

Pohltivost je poměr zářivého toku pohlceného povrchovou plochou k zářivému toku dopadajícího na tutéž plochu. Označuje se α a nabývá hodnot od 0 do 1.

$$\alpha = \frac{\phi_a}{\phi_d} \quad (11)$$

4.1.8.2. Odrazivost (reflexe)

Odrazivost je poměr odraženého zářivého toku povrchovou plochou k zářivému toku dopadajícímu na tutéž plochu. Označuje se ρ a nabývá hodnot od 0 do 1.

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_d} \quad (12)$$

4.1.8.3. Propustnost (transmittance)

Propustnost je poměr propuštěného zářivého toku materiálem (prostředím) k dopadajícímu zářivému toku. Označuje se τ a nabývá hodnot od 0 do 1.

$$\tau = \frac{\phi_t}{\phi_d} \quad (13)$$

4.1.8.4. Emisivita povrchu

Často je zaváděn poměr mezi intenzitami vyzařování černého a šedého tělesa. Tento poměr se označuje jako emisivita povrchu ε .

$$\varepsilon = \frac{H}{H_b} = A < 1 \quad (14)$$

kde je:

H	integrální zářivá energie
H_b	integrální zářivá energie černého tělesa

Hodnota emisivity absolutně černého tělesa je 1, absolutně černé těleso je tedy jednak ideálním pohlcovačem tepelného záření, tak i ideálním zdrojem záření. Šedé tělesa jsou méně účinné zářiče.

4.1.8.5. Planckův vyzařovací zákon

Zahřátá tělesa vyzařují svoji energii po kvantech. Na základě kvantové teorie a v souladu se zákony pravděpodobnosti odvodil Planck svůj vyzařovací zákon, který konstatuje: „Záření o frekvenci f může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti $e = h \cdot f$ “ [6].

V tomto zákoně představuje h Planckovu konstantu, která má hodnotu $h = (6,6256 \pm 0,0005) \cdot 10^{-34}$ J.s. Z uvedeného vyjádření Planckova vyzařovacího zákona je možné pro dokonale černé těleso ve vakuu odvodit vztah pro spektrální hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ jako funkci vlnové délky záření λ a teploty zářiče T [6] [7].

$$E_{o\lambda} = \frac{dE_o}{d\lambda} = f(\lambda, T) = c^2 h \frac{2\pi\lambda^{-5}}{e^{\frac{ch}{k\lambda T}} - 1} \quad (15)$$

kde je:	$E_{o\lambda}$	hustota zářivého toku dokonale černého tělesa
	λ	vlnová délka
	k	Boltzmannova konstanta
		$k = (1,38054 \pm 0,00018) \cdot 10^{-23}$ [J.K ⁻¹]
	c	rychlost světla
	T	termodynamická teplota

4.1.8.6. Kirchhoffův zákon

Kirchhoff ve své práci došel v roce 1860 k důležitému zákonu, který říká, že poměr intenzity vyzařování H_e k pohltivosti α závisí jen na absolutní teplotě tělesa. Tento Kirchhoffův zákon o úhrnném vyzařování lze vyjádřit rovnicí:

$$\frac{H_e}{\alpha} = f(T) \quad (16)$$

která udává, že tento poměr je funkcí pouze jediné proměnné teploty T a tedy nezávislý na vlastnostech tělesa (např. chemické složení, úpravě povrchu apod.), na které je uplatňován.

Tento Kirchhoffův zákon platí pro každou vlnovou délku spektra zvlášť, tudíž i pro monochromatické vyzařování a monochromatickou pohltivost. Poměr těchto dvou veličin popisuje Kirchhoffův zákon pro monochromatické záření, který má tvar:

$$\frac{H_\lambda}{\alpha_\lambda} = F(T, \alpha) \quad (17)$$

a je funkcí dvou proměnných teploty a příslušné vlnové délky. Z tohoto zákona nám vyplívá velmi důležitá skutečnost, že těleso nejvíce pohlcuje záření o té vlnové délce, kterou samo nejsilněji vyzařuje.

4.2. Vlhkost ve stavebních konstrukcích

Většina stavebních materiálů je hygroskopická, což znamená, že adsorbují vodní páru ze vzdušné vlhkosti až po dosažení rovnovážných podmínek. Toto chování lze popsat pomocí sorpčních křivek v rozsahu 0 až 95 % relativní vlhkosti.

Pokud stavební materiály v kontaktu s vodou absorbují vlhkost pomocí kapilárního sání, nazýváme je kapilárně aktivní, pokud tuto vlhkost neabsorbují, považují se za hydrofobní. Kapilárně aktivní materiály absorbují tekutou vodu, dokud nedosáhnou určitého stavu nasycení. Tato fáze se nazývá volná saturace vody nebo kapilární nasycení. Maximální saturaci vody ve stavebních materiálech lze dosáhnout pouze tlakem nebo difúzí vodní páry způsobené teplotním gradientem. Toto platí také pro hydrofobní stavební materiál.

Je možné rozlišovat následující tři oblasti vlhkosti, které se mohou vyskytovat ve stavebních materiálech v důsledku stále intenzivnějších vlhkostních podmínek [8] [9].

Oblast A – oblast sorpční vlhkosti (sorption moisture region)

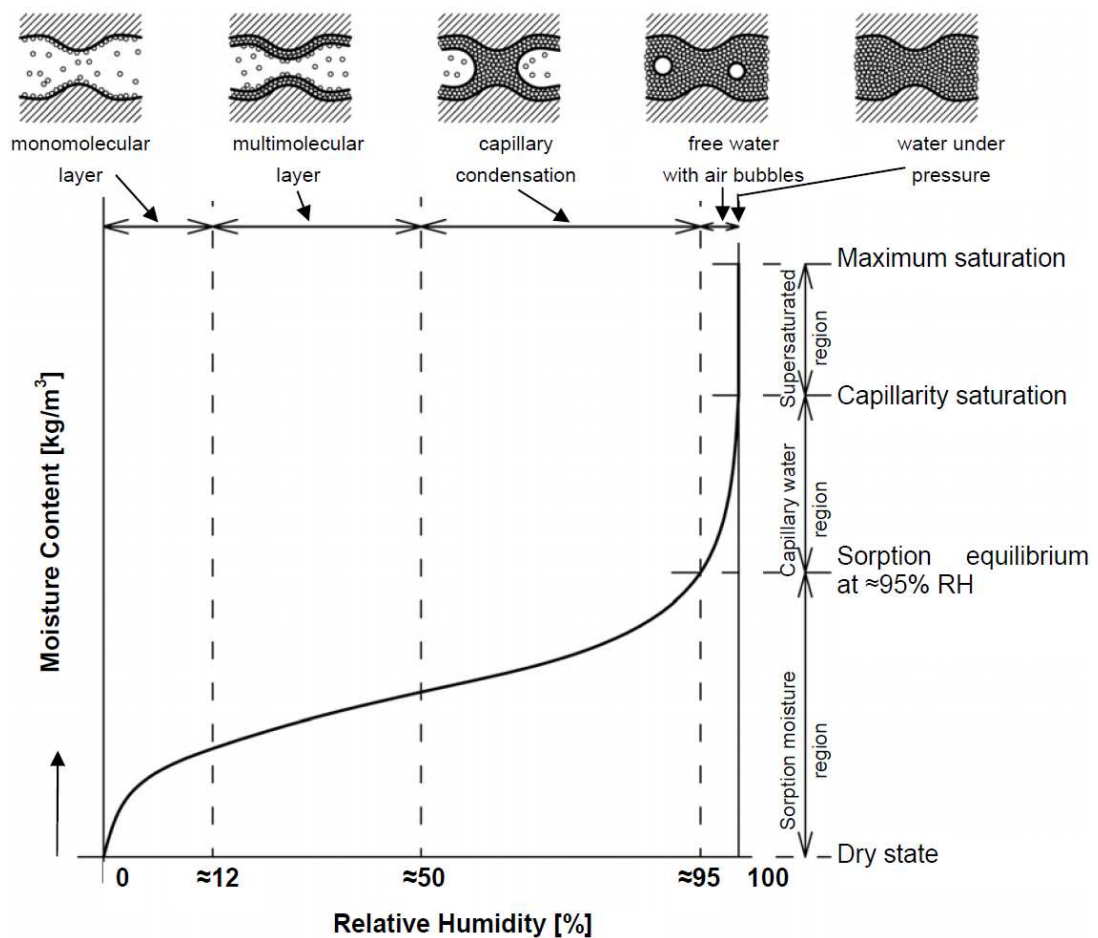
Tato oblast se pohybuje v rozmezí od suchého stavu až do stavu rovnovážné vlhkosti okolo 95 % relativní vlhkosti. Zahrnuje všechny stavy vody vyplývající ze sorpce vodní páry až do rovnovážného stavu.

Oblast B – oblast kapilární vody (capillary water region)

Když kapilárně aktivní stavební materiály přijdou do styku s tekutou vodou, absorbují tuto vodu dokud nedosáhnou fáze volné saturace vody (kapilární nasycení). Kapilární nasycení je definováno jako obsah vlhkosti materiálu, který lze dosáhnout přirozenou absorpcí za normálního tlaku bez vlivu vnějších sil. Přítomnost zachycených vzduchových bublin v pórech způsobuje, že není vyplněn celý jejich prostor

Oblast C – oblast přesycení (supersaturated region)

V této oblasti se za přirozených podmínek nemůže dosáhnout rovnovážného stavu. Jsou zaplněny všechny dutiny i póry. Tato oblast je nejlépe definována v hydrofobních izolačních materiálech. Jakmile v těchto materiálech dojde při teplotním gradientu ke kondenzaci vodní páry, je dosaženo přesycené oblasti. Bez ohledu na obsah vody je v tomto případě relativní vlhkost vždy 100% [8] [9].



Obr. 1. Příklad sorpční izotermy v hydroskopickém a kapilárně aktivním stavebním materiálu [9]

4.2.1. Difúze vodních par

V porézních materiálech probíhá čistá difúze vodních par pouze za nízké relativní vlhkosti ovzduší. Mohou být rozlišeny tři dopravní mechanismy:

- efúze
- termodifúze
- difúze

4.2.1.1. Efúze

Efúze (Knudsenova difúze) je difúze vodní páry, která probíhá ve velmi úzkých kapilárách, kde je střední volná cesta molekul vodní páry větší než rozměr póru $\sim 10^{-8}$ m. Platí tedy, že rychlost Knudsenovy difúze je úměrná velikosti pórů [9] [10].

4.2.1.2. Termodifúze

Termodifúze je založena na principu teplotních gradientů (Soretův efekt) a ve stavebních prvcích je zanedbatelná. V [10] je zmínka o tom, že pouze cca 0,05 % z celkové přepravy vlhkosti může být přiděleno termodifúzi, kvůli malým teplotním gradientům mezi stavebními materiály.

4.2.1.3. Difúze

Teorii difúze vodní páry jako první popsal fyzik Adolf Eugen Fick v roce 1855. První Fickův zákon je popsán pro plynou směs suchého vzduchu a vodní páry jako [11]:

$$g_a = -D_{va} \nabla \rho_v \quad (18)$$

kde je:

g_a	hustota transportu par v plyné směsi [kg.m ⁻² .s ⁻¹]
D_{va}	binární difuzní koeficient vzduchu a páry [m ² .s ⁻¹]
ρ_v	koncentrace vodní páry [kg.m ⁻³]

Binární difúzní koeficient vzduchu a páry je vyjádřen dle Shirmera [12]:

$$D_{va} = \frac{2,306 \cdot 10^{-5} P_0}{P_g} \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,81} \quad (19)$$

kde je: T absolutní teplota [K]
 P_g celkový tlak plynu [Pa]
 P_0 standardní atmosférický tlak [Pa]

Častěji bývá difúzní koeficient vzduchu a páry vyjádřen dle Kumurana [13]:

$$D_{va} = \delta_a \cdot R_v \cdot T \quad (20)$$

kde je: δ_a propustnost vodní páry u nehybného vzduchu [kg.m⁻¹.s⁻¹.Pa⁻¹]
 R_v ideální plynová konstanta pro vodní páru [J.K⁻¹.kg⁻¹]

Koncentrace vodní páry pak může být zapsána takto:

$$\rho_v = \frac{P_v}{R_v \cdot T} \quad (21)$$

kde je: p_v parciální tlak vodní páry [Pa]

Dle předešlých vztahů může být první Fickův zákon přepsán do této podoby:

$$g_a = -\delta_a \nabla p_v \quad (22)$$

Tato rovnice je zapsána pouze pro difúzi vodních pár ve směsi plynu. Ve stavebním porézním materiálu je délka molekul vody delší než ve směsi plynů v důsledku pevných matic a pouze v otevřených pórech. To můžeme zapsat jako:

$$g_v = -\frac{1}{\tau} \cdot \psi_0 \cdot \delta_a \nabla p_v \quad (23)$$

kde je: g_v hustota transportu par v materiálu [kg.m⁻².s⁻¹]

τ	faktor zakřivění [-]
ψ_0	pórovitost materiálu [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]

Faktor difúzního odporu materiálu může být definován jako poměr mezi propustností páry vodní páry u nehybného vzduchu a materiálu za stejných termodynamických podmínek (stejná teplota a tlak) [14]:

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta_p} \quad (24)$$

kde je: δ_p propustnost vodních par (při tlakovém gradientu) [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$]

Nakonec může být první Fickův zákon přepsán pro difúzi vodních par ve stavebních materiálech:

$$g_v = -\delta_p \nabla p_v \quad (25)$$

4.2.2. Transport kapalin

Transport kapalin by měla být definován jako povrchová difúze, která probíhá v oblasti sorpční vlhkosti a jako kapilární transport, který se nastává v oblasti kapilární vody. V třetí oblasti – v oblasti přesycení, nastává transport vlhkosti pouze difúzí při teplotním gradientu nebo při působení vnějšího tlaku [9].

4.2.2.1. Povrchová difúze

Povrchová difúze je definována jako transport vlhkosti ve vrstvách molekuly vody adsorbovaných na stěnách pórů hygroskopických materiálů a mikrokapilár.

Povrchová difúze je transport kapaliny, jehož potenciálem je relativní vlhkost. Značně vyšší nárůst difúzního toku souvisejícího s parciálním tlakem při nižších teplotách a kde koeficient difúze vodní páry stoupá s teplotou ukazuje, že parciální tlak nemusí být hnacím potenciálem.

Zahrnutí povrchové difúze do rovnice difúze vodních par pomocí hodnoty difúzního odporu závislé na vlhkosti vede k chybám ve výpočtu. Proto je vhodné vzít v úvahu povrchovou difúzi spolu s kapilárním vedením výpočetní technikou, která je nezávislá na difúzi par [8].

4.2.2.2. Kapilární vedení

Tento transportní mechanismus je charakteristický pro vodou smáčivé stavební materiály, což je naprostá většina stavebních látek. Při kontaktu pórovitého materiálu s vodou dochází k intenzivnímu nasávání vody nezávisle na sklonu póru. Materiály s většími póry nasákávají rychleji, ale výška vzlínání je nízká. Naopak materiály jemně pórovité a hutné materiály sají vodu pomalu avšak velmi vysoko. V těchto materiálech působí několikanásobně vyšší sací síly než materiály s většími póry.

V jednozdušené formě lze vzlínání vody vysvětlit prostřednictvím kapilární elevace. Ta je charakterizována rozdílem výšky hladiny kapaliny v kapiláře proti úrovni hladiny v okolí. Tento jev vyvolávají kapilární síly mezi molekulami kapaliny a povrchem pevné látky. Povrchové napětí způsobuje, že se sloupec kapaliny v kapiláře pohybuje ve směru výslednice sil. V kapiláře s kruhovým průřezem působí povrchové napětí na stykové ploše v oblasti odpovídající obvodu póru.

Při použití Darcyho zákona může být kapilární transport v jednom póru vyjádřen jako:

$$g_l = -K \nabla P_c \quad (26)$$

kde je:

g_l	hustota toku kapaliny [kg.m ⁻² .s ⁻¹]
K	hydraulická vodivost [kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ .Pa ⁻¹]
P_c	sací tlak [Pa]

Hydraulickou vodivost je těžké určit, proto se kapilární transport je často určuje dle následujícího vztahu [15] [16]:

$$g_l = -D_w \nabla w \quad (27)$$

kde je:

D_w	koeficient transportu kapaliny [m ² .s]
w	obash vody [kg.m ⁻³]

Tento vztah je nespojitý na rozhraní materiálů a proto byla navržena rozdílná rovnice pro kapilární transport, která je spojitá i na hranicích vrstev [8]:

$$g_l = -D_\varphi \nabla \varphi \quad (28)$$

kde je:

D_φ	koeficient vodivosti kapaliny [kg.m ⁻¹ .s ⁻¹]
φ	relativní vlhkost [-]

Porovnáním předešlých dvou rovnic lze vytvořit spojení mezi jejich transportními koeficienty [8]:

$$D_\varphi = D_w \cdot \frac{dw}{d\varphi} \quad (29)$$

Je možné rozlišit D_φ mezi procesem kapilárního sání a procesem redistribuce. Při přerušení dodávky vody dochází k jejímu přerozdělení. Rozptýlení kapalně vody pokračuje od větších pórů k menším pórům prostřednictvím příčných spojů díky sacím silám viz Obr. 2.

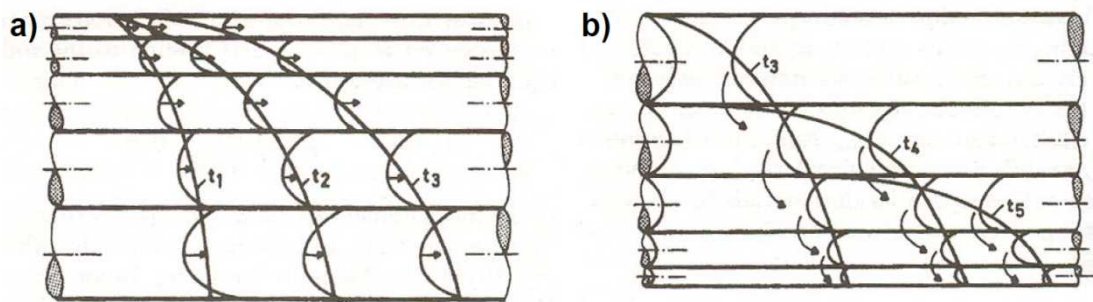
Koeficienty transportu kapaliny pro sání a redistribuci jsou určeny z následující rovnice [8]:

$$D_{ws}(w) = 3,8 \cdot (A / w_f)^2 \cdot 1000^{w/(w_f-1)} \quad (30)$$

kde je:	D_{ws}	koeficient kapilárního transportu pro sací proces [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
	A	koeficient absorpce vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-0,5}$]
	w	obsah vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
	w_f	volně nasycená voda [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Koeficient transportu kapaliny při redistribuci D_{ww} [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] se dle [8] vypočítá přibližně takto:

$$D_{ww}(w) = 0,1 \cdot D_{ws} \quad (31)$$



Obr. 2. Kapilární transportní jevy reprezentované vzorem vzájemně propojených válcových kapilár různých průměrů v čase t_1 , t_2 a t_3 .
a) Absorpce (sání); b) Redistribuce [10]

4.3. Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů

4.3.1. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost ρ je hmotnost materiálu v definovaném stavu, např. vlhkosti, stlačení, o objemu 1 m^3 , je dle normy [17] definována vztahem:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (32)$$

kde je:

m	hmotnost materiálu v definovaném stavu vlhkosti, stlačení apod. $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
V	objem materiálu $[\text{m}^3]$

Objemová hmotnost látek je závislá na hustotě základních složek daného materiálu, ale velmi silně i na jeho pórovitosti.

4.3.2. Pórovitost

Pórovitost nebo poréznost n je vlastnost pevných nebo polotuhých materiálů, které obsahují množství drobných a rovnoměrně rozložených dutin či otvorů nejrůznějšího tvaru a původu. Pórovitost snižuje specifickou hmotnost materiálu, zvyšuje jeho izolační a další schopnosti, například nasákavost.

$$n = \frac{V_p}{V} \quad (33)$$

kde je:

V_p	objem pórového prostoru v celkovém objemu materiálu $[\text{m}^3]$
V	celkový objem materiálu $[\text{m}^3]$

4.3.3. Hmotnostní vlhkost

Hmotnostní vlhkost w je definována jako podíl hmotnosti vypařitelné vody a hmotnosti suchého materiálu.

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} \quad (34)$$

kde je: m_v hmotnost vlhkého materiálu [kg]
 m_s hmotnost suchého materiálu [kg]

4.3.4. Objemová vlhkost

Objemová hmotnost w je definována jako podíl hmotnosti vypařitelné vody a hmotnosti suchého materiálu v závislosti na hustotě vody.

$$w = \frac{(m_v - m_s)}{\rho_{vody} \cdot V} \quad (35)$$

kde je: m_v hmotnost vlhkého materiálu [kg]
 m_s hmotnost suchého materiálu [kg]
 V objem daného materiálu [m³]
 ρ_{vody} hustota vody [kg.m⁻³]

4.3.5. Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost vzduchu (též hustota vodní páry nebo měrná hmotnost vodní páry) vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (36)$$

kde je: m hmotnost vodní páry [g]
 V objem daného vzduchu [m³]

4.3.6. Relativní vlhkost

Relativní vlhkost vzduchu udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Relativní vlhkost se též někdy označuje jako poměrná vlhkost.

$$\rho = \frac{m}{M} \quad (37)$$

kde je: m hmotnost vodní páry ve vzduchu obsažené [g]
 M hmotnost vodní páry, kterou by obsahoval
 stejný objem vzduchu, kdyby byl při stejné
 teplotě a tlaku vodními parami nasycen [g]

4.3.7. Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita c je množství tepelné energie, kterou je třeba dodat při stálém tlaku, vzorku materiálu o definované vlhkosti a hmotnosti 1 kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K; dle normy [17] je definována vztahem:

$$c = \frac{E}{m \cdot \Delta t} \quad (38)$$

kde je:	E	tepelná energie (množství přivedeného tepla) [J]
	m	hmotnost materiálu [kg]
	Δt	přírůstek teploty [K]

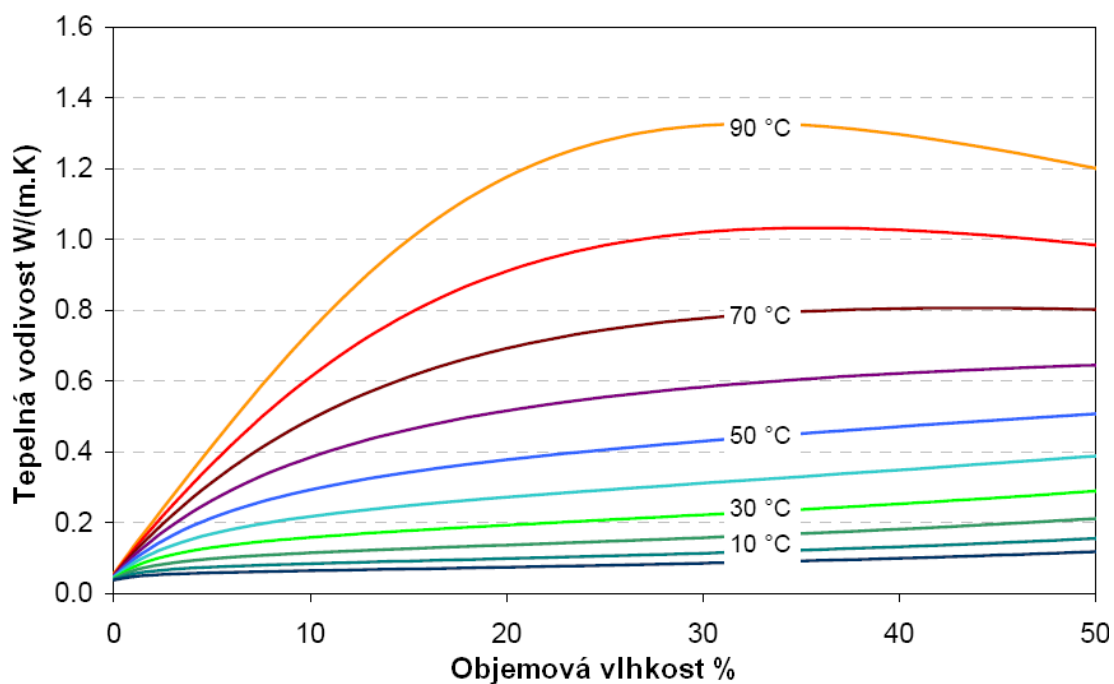
4.3.8. Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti λ je materiálovou konstantou. Číselně je roven teplu, které projde materiálem za jednotku času jednotkou plochy při jednotkovém teplotním gradientu. Dle normy [17] je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\ t} \quad (39)$$

kde je:	λ	součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	q	hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
	$grad\ t$	gradient teploty [K]

Látky dělíme dle součinitele tepelné vodivosti na vodiče a izolanty. Jeho hodnoty se mohou lišit i o několik řádů, jak ukazuje tabulka seznamu použitých materiálů v příloze této diplomové práce. Nejlepšími vodiči jsou kovy, naopak nejlepšími izolanty jsou plyny. Proto jsou dobrými izolačními materiály látky, které obsahují velké množství uzavřených dutinek vyplněných vzduchem nebo jinými plyny. Hodnota součinitele tepelné vodivosti závisí na vlhkosti a teplotě materiálu. Tepelná vodivost klesá se zvyšující se vlhkostí nebo teplotou.



Obr. 3. Příklad závislosti teploty a objemové vlhkosti na průběh součinitele tepelné vodivosti minerální vlny [18]

4.3.9. Součinitel teplotní vodivosti

Součinitel teplotní vodivosti a je schopnost stejnorodého materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustálém vedení tepla, dle normy [17] je dán vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (40)$$

kde je:

λ	součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
c	měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
ρ	objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti [$kg \cdot m^{-3}$]

Součinitel tepelné vodivosti charakterizuje rychlost změny teploty v určitém místě způsobené změnou povrchové teploty. Čím je tedy hodnota menší, tím menší je rychlost změny teploty a materiál vykazuje větší stabilitu.

4.3.10. Množství tepla

Tepelnou energii lze uchovávat v kapalných, plynných i pevných látkách. Množství tepla Q přijatého látkou je dle literatury [14] přímo úměrné jeho hmotnosti m , měrné objemové kapacitě c a rozdílu počáteční a koncové teploty Δt , lze jej tedy definovat vztahem:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (41)$$

kde je:

m	hmotnost [kg]
c	měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Δt	rozdíl počáteční a koncové teploty [K]

4.3.11. Součinitel difúzní vodivosti

Charakterizuje schopnost materiálu propouštět vodní páry. Je konstantou úměrnosti mezi hustotou difúzního toku a směru růstu částečného tlaku vodní páry.

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p} \quad (42)$$

kde je:

Δm	množství prodifundované páry za čas τ [kg]
d	tloušťka vrstvy [m]
S	měrná plocha [m^2]
τ	časové období korespondující s transportem hmoty vodní páry Δm [K]
Δp_p	rozdíl parciálních tlaků vodní páry [Pa]

4.3.12. Faktor difúzního odporu

Jedná se o bezrozměrnou vlhkostní veličinu, značíme ji řeckým písmenem μ [-]. Vyjadřuje schopnost vrstvy materiálu propouštět vodní páru difuzí, vypočteme ji jako poměr difuzního odporu daného materiálu a difuzního odporu vzduchu o stejné tloušťce, při smluvních podmínkách. Vztahem je definována takto:

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta} \quad (43)$$

kde je:	δ_a	součinitel	difuzní	vodivosti	vzduchu
		[kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ .Pa ⁻¹]			
	δ	součinitel	difuzní	vodivosti	materiálu
		[kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ .Pa ⁻¹]			

4.3.13. Ekvivalentní difúzní tloušťka

Tuto veličinu značíme s_d [m], jedná se o tloušťku nehybné vrstvy vzduchu, která má stejný difuzní odpor jako předmětná vrstva materiálu. Slovně můžeme tuto veličinu popsat jako součin faktoru difuzního odporu materiálu s tloušťkou materiálu. Čím vyšší je ekvivalentní difuzní tloušťka, tím složitější je prostupnost pro vodní páru tímto materiálem. Vysoké číslo, ale ne vždy naznačuje kvalitní parotěsnou vrstvu. Existují parobrzdy, které mají hodnotu s_d proměnnou v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.

$$s_d = \mu \cdot d \quad (44)$$

kde je:	μ	faktor difúzního odporu [-]
	d	tloušťka vrstvy [m]

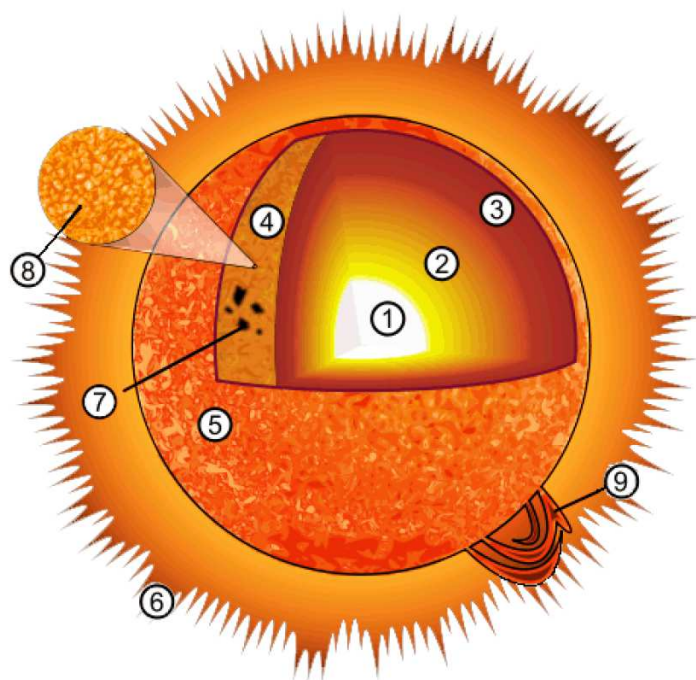
4.4. Slunce a sluneční energie

4.4.1. Obecně o slunci

Energie ze Slunce představuje téměř veškerou energii naší planety. Tato energie má zásadní vliv na živé organismy na Zemi. Řídí všechny přírodní pochody, jako jsou klimatické podmínky, mořské proudy, příliv, odliv, nebo fotosyntéza rostlin a mnoho dalších. Jak na zemi, tak ve vesmíru platí zákon zachování energie, podle kterého se veškerá sluneční energie dopadající na Zemi transformuje na jiné formy energie. Mezi projevy sluneční energie patří také energie fosilních paliv, jako je uhlí, ropa, nebo zemní plyn.

Slunce je hvězda nacházející se v samotném centru naší sluneční soustavy. Má tvar koule o průměru 1 400 000 km. Je tedy 109krát větší a 1,3milionkrát objemnější než Země. Vzdálenost Slunce od Země se během roku mění od 147 do 152 miliónů km. Střední hodnota této vzdálenosti určuje tzv. astronomickou jednotku (*astronomical unit* 1 AU = 149 597 870 691 ± 30 m). Světlo urazí tuto vzdálenost za 8 minut a 19 vteřin. Slunce je se svou hmotností $2 \cdot 10^{30}$ kg 320 000krát hmotnější než Země. Je tvořeno žhavými elektricky vodivými plyny, které nazýváme plazma. Ve středu Slunce dosahuje teplota 13 000 000 K. Teplota slunečního povrchu tzv. fotosféry je přibližně 6 000 K. Vlastní struktura Slunce je schematicky vyobrazena na Obr. 4.

Zdrojem sluneční energie je termonukleární reakce (jaderná syntéza, fúze), při této reakci dochází k přeměně vodíku na helium. Podmínky pro přeměnu jsou teplota okolo $13 \cdot 10^6$ K a tlaku $2 \cdot 10^{10}$ MPa. V těchto podmínkách jsou všechny atomy zcela ionizovány. Při syntéze se zmenší hmotnost hélia a je menší než hmotnost vstupujícího vodíku. Rozdíl mezi hmotnostmi vstupujícího prvku vodíku a vzniklého prvku hélia se da přepočítat dle Einsteinova vztahu $E=mc^2$ na energii, která vznikne tímto procesem. Vyzářena energie do prostoru je $3,6 \cdot 10^{26}$ W a intenzita záření na povrchu Slunce je $6 \cdot 10^7$ W/m².



Obr. 4. Struktura Slunce

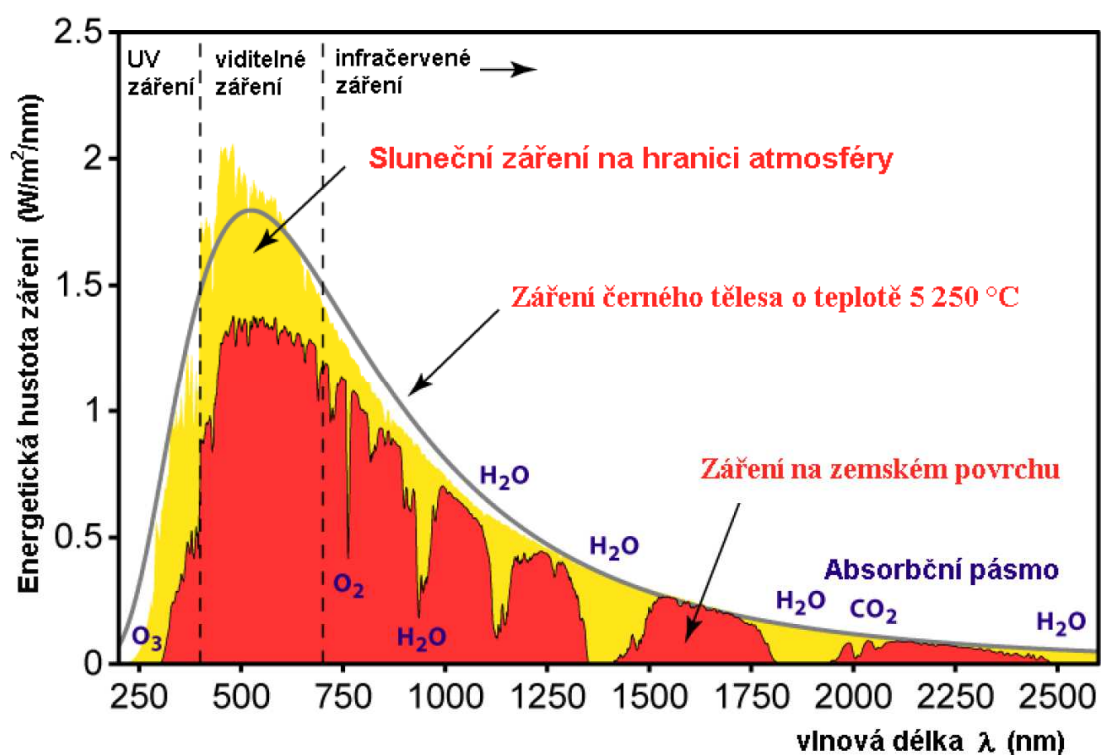
1-jádro Slunce, 2-radiační zóna, 3-konvektivní zóna, 4-fotosféra, 5-chromosféra, 6-koróna, 7-sluneční skvrna, 8-granule, 9-protuberance [19]

4.4.2. Sluneční záření

Slunce do svého okolí uvolňuje energii ve formě elektromagnetického záření. Spektrální rozsah tohoto záření je od 0,1 nm až po metrové vlnové délky. Odborná literatura [22] uvádí rozsah vlnových délek 0,1 nm až 103 m. Solární záření tvoří rentgenové (RTG), ultrafialové (UV), viditelné, infračervené (IR) a rádiové záření, přičemž z energetického hlediska je nejvýznamnější vlnový rozsah 200 až 3000 nm. Nejvíce energie je přenášeno v oblasti viditelného spektra viz Obr. 5.

Tab. 2. Spektrum elektromagnetického vlnění

Název	Vlnová délka λ	Poznámka
Radiové	do 1 dm	Rozhlasové a televizní vysílání
Mikrovlnné	1 dm – 1 mm	Ohřev vibracemi molekul, radar
Infračervené	1 mm – 760 nm	Tepelné záření
Viditelné	760 nm – 390 nm	Barevná škála viditelná lidským okem
Ultrafialové	390 nm – 10 nm	Nebezpečné pro živé organismy (rakovina)
Rentgenové	10 nm – 1 pm	Užíváno ve zdravotnictví a bezpečnosti
Gama	nad 1 pm	Velmi pronikavé, produkt jaderných reakcí



Obr. 5. Spektrum elektromagnetického vlnění na hranici atmosféry [20]

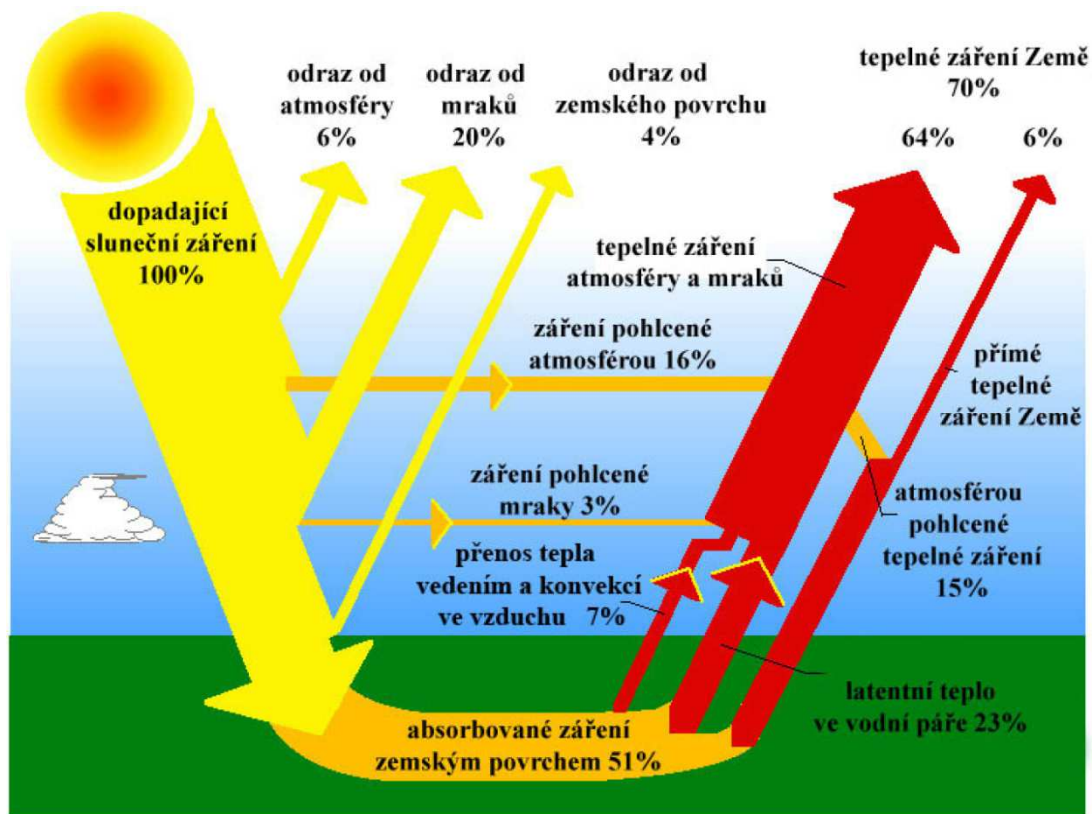
Sluneční záření na své cestě od Slunce nemění svoji formu, avšak s rostoucí vzdáleností se rozptyluje na větší plochu a tím ztrácí na intenzitě. Zářivý tok na povrchu zemské atmosféry dopadající na jednotkovou plochu, kolmou ke slunečním paprskům, odpovídá výkonu přibližně 1,4 kW. Měrný tok energie 1,4 kW/m² nazýváme tzv. *solární konstantou*. V důsledku proměnné vzdálenosti Země od Slunce kolísá i solární konstanta. Průměrná hodnota solární konstanty I_0 byla stanovena na hodnotu 1360 [W.m²].

Z celkového zářivého výkonu Slunce $3,8 \cdot 10^{23}$ kW dopadá na osluněný zemský povrch jen velmi malá část, tj. $1,8 \cdot 10^{14}$ kW [21]. Země je tedy schopna zachytit přibližně jen jednu dvou-miliardtinu z celkového zářivého výkonu Slunce. Také ostatní planety a kosmická tělesa zachytí jen velmi malou část tohoto zářivého toku. Naprostá většina slunečního záření je rozptýlena do kosmického prostoru.

Zemská atmosféra (ovzduší) sahá až do výšky přes 1000 km (to je asi šestina zemského poloměru). Je to tedy poměrně tenká vrstva, která je jen velmi řídkce vyplněna vzduchem (zejména ve větších výškách). Atmosféra je složena především z kyslíku a dusíku. Ve výškách nad 60 km pohlcují tyto atmosférické plyny ultrafialové a rentgenové záření a jsou jimi ionizovány (proto se tato vrstva atmosféry nazývá ionosféra). Níže v atmosféře (ve výškách od 20 do 30 km) se zachycuje ultrafialové záření ve vrstvě s velkým obsahem ozónu, v tzv. ozonospféře. Pohlceným ultrafialovým zářením se ozonospféra zahřívá [22].

Ozón tzv. trikyslík O₃ se sestává ze tří atomů kyslíku na místo dvou, které tvoří molekuly stabilního běžného dikyslíku O₂, který dýcháme. Vzniká pomocí elektrických výbojů, nebo působením krátkovlnného ultrafialového záření na molekuly obyčejného kyslíku. Právě díky ozónu je záření s vlnovou délkou kratší 300 nm silně pohlcováno už v horních vrstvách atmosféry. UV záření lidské oko neregistruje, a protože tvoří jen malý zlomek z celkového slunečního záření dopadajícího na Zemi, nemá ani příliš velký význam z energetického hlediska. Po zdravotní stránce je

však záření o takové vlnové délce velmi nebezpečné. Dokáže nevratně poškodit buňky živých organismů.



Obr. 6. Přeměna slunečního záření v zemské atmosféře [23]

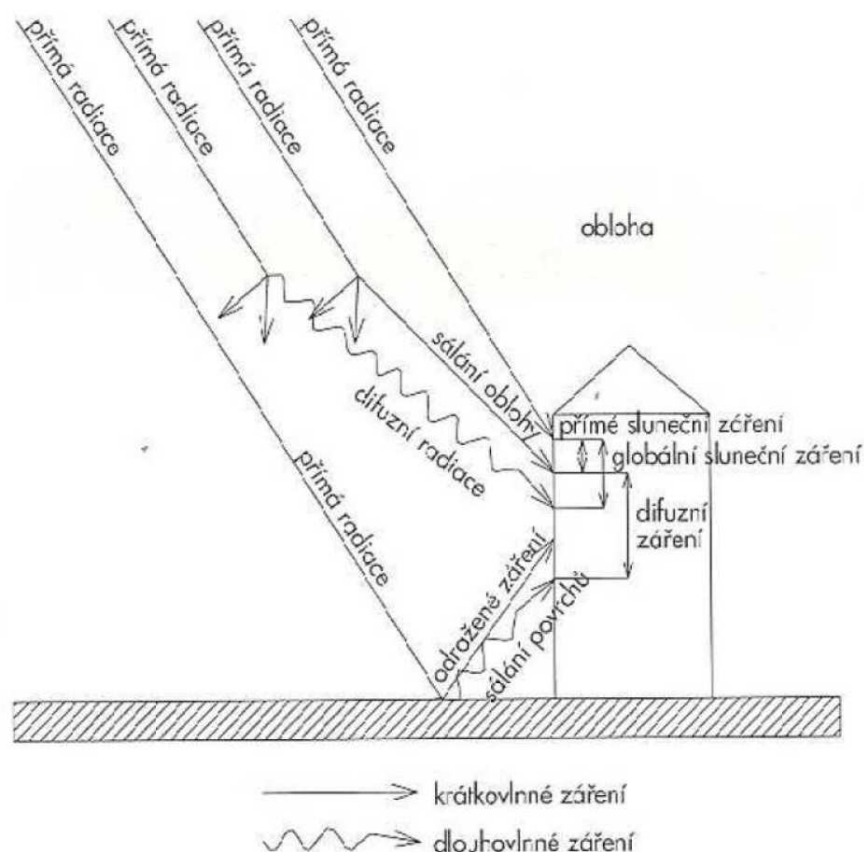
Obr. 6 ukazuje průchod solární energie atmosférou. Asi 30 % z celkové dopadající energie se odrazí zpět do kosmického prostoru. Přibližně 19 % energie je pohlceno atmosférou. Zbytek energie je absorbován zemským povrchem (51 %). Povrch Země předává teplo atmosféře konvekcí zahřátého vzduchu (asi 7 %), nebo ve formě latentního (výparného) tepla spolu s vodními parami (23 %). Zemský povrch přímo vyzáří jen 21 % energie ve formě tepla. Z toho je 15 % opět absorbováno atmosférou a zbylých 6 % odchází do kosmického prostoru. Celkové tepelné (infračervené) záření atmosféry a zemského povrchu představuje 70 % z dopadajícího slunečního záření. Z Obr. 6 je patrné, že všechna pohlcená energie je Zemí zpětně vyzářena. Mezi příchozím slunečním zářivým tokem a zářivým tokem Země panuje rovnováha. Jakékoli porušení této rovnováhy by mělo za následek téměř okamžitou změnu klimatu. V

závislosti na charakteru změny rovnováhy by se mohla Země příliš ohřívat, nebo ochlazovat.

4.4.2.1. Sluneční záření na Zemi

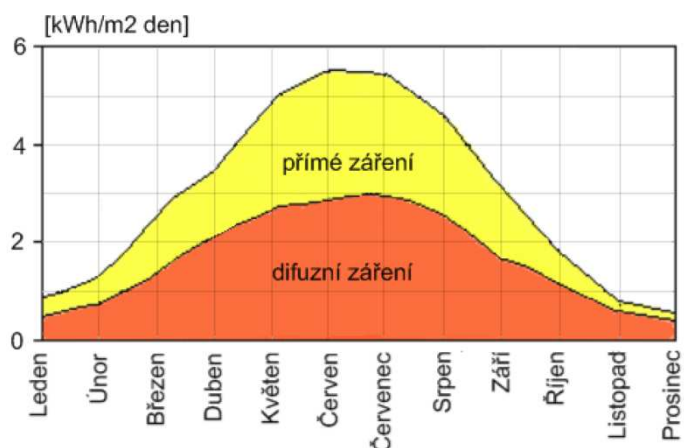
Při průchodu zemskou atmosférou se část solárního záření od atmosféry odrazí, část se v ní rozptýlí a část je atmosférou pohlcena. Na zemském povrchu je tedy intenzita přímého slunečního záření na jednotkovou plochu, kolmou ke slunečním paprskům o něco menší, než na povrchu atmosféry, kde je tato intenzita rovna $1\,360\text{ W.m}^2$ (solární konstanta).

Veškeré solární záření, které dopadá na zemský povrch, nazýváme *globálním zářením*. Sluneční záření, které dopadá přímo na povrch Země, aniž by změnilo směr, nazýváme *přímé sluneční záření*. Rozptylem přímého slunečního záření v atmosféře vzniká *záření difúzní*. K rozptylu dochází odrazem záření na molekulách plynů tvořících atmosféru, na prachových částicích, nebo v oblacích. Difúzní záření vzniká také odrazem od zemského povrchu. Na rozdíl od přímého záření nevrhá stíny a dopadá na zemský povrch ze všech možných směrů. Velikost jeho složky závisí na znečištění ovzduší, oblačnosti a charakteru zemského povrchu. Při velké oblačnosti dopadá na zemský povrch pouze difúzní záření. Rozdělení slunečního záření viz Obr.7.



Obr. 7. Dělení slunečního záření [24]

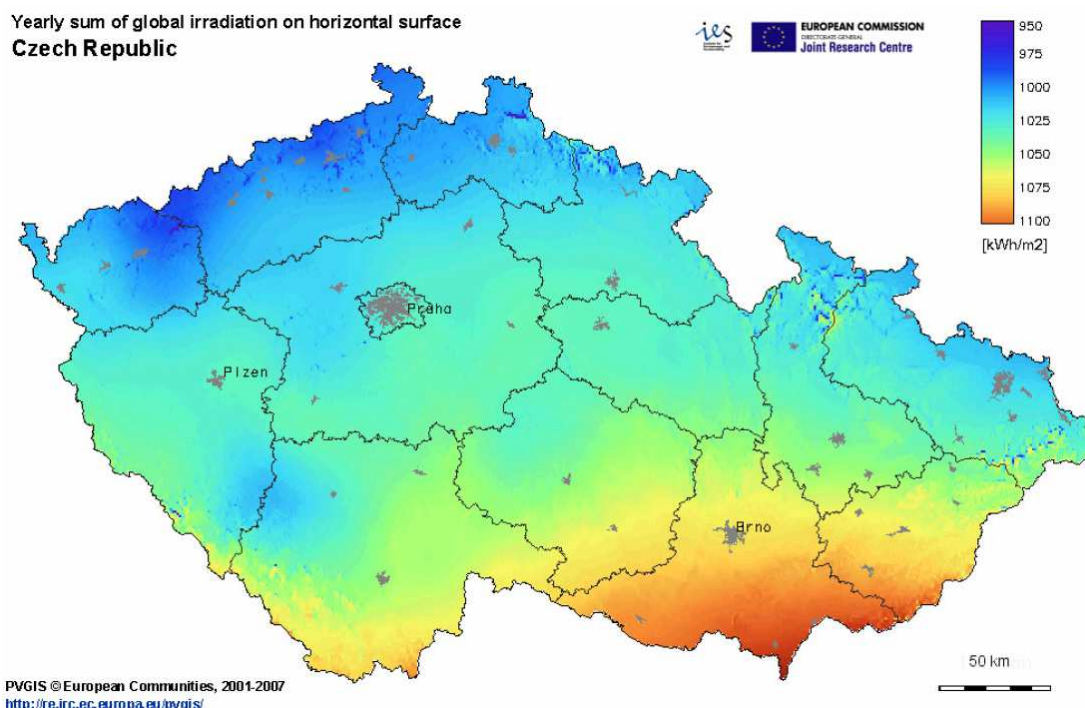
Z celkového množství energie činí podíl rozptýleného záření 50 až 60 % (Obr. 8). V zimních měsících, kdy je převážně oblačná obloha, je tento podíl vyšší.



Obr. 8. Množství přímého a difúzního záření v průběhu roku [25]

4.4.2.2. Intenzita slunečního záření na území ČR

Intenzita slunečního záření je veličina, která vyjadřuje souhrn globálního záření na jednotku vodorovné plochy. V České republice se pohybuje v rozmezí 950 - 1100 kWh/m² (viz Obr. 9). V nejslunnějších oblastech naší zeměkoule dosahují hodnoty intenzity slunečního záření přes 2200 kWh/m².



Obr. 9. Souhrn globálního záření na jednotku vodorovné plochy v ČR [26]

4.4.2.3. Přímé sluneční záření

Přímé sluneční záření je energeticky nejefektivnější, protože se k zemskému povrchu dostává ve svazku rovnoběžných paprsků ze Slunce při jasné a bezmračné obloze. Pokud na objekt působí tato složka záření tak objekt vrhá vlastní ohraničené stíny.

Intenzita přímého záření dopadajícího na plochu kolmou ke směru paprsků I_{pn} :

$$I_{pn} = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad (45)$$

kde je: ε součinitel, který závisí na výšce Slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa [-]
 Z součinitel znečištění atmosféry

Intenzita přímého slunečního záření I_p dopadající na obecně položenou plochu:

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma \quad (46)$$

kde je: γ úhel svírající nakloněná dopadová plocha s plochou vodorovnou [°]

Intenzita přímého slunečního záření I_{ph} kolmo ke slunečním paprskům:

$$I_{ph} = I_{pn} \cdot \sin h_0 \quad (47)$$

4.4.2.4. Rozptýlené (difúzní) sluneční záření

Rozptylem přímého záření molekulami vzduchu, v mracích a na částech prachu vzniká záření difúzní, které na Zemi přichází ze všech směrů. Difúzní záření může převládat nad přímým zářením při východu a západu Slunce, za větší oblačnosti a při větším znečištění atmosféry. Intenzita difúzního záření závisí i na výšce slunce nad obzorem h . Součástí difúzního záření je i sálání okolních ploch a terénu [24].

Intenzita difuzního slunečního záření dopadající na vodorovnou rovinu:

$$I_{Dh} = \frac{1}{3}(I_0 - I_{Ph}) \cdot \sin h \quad (48)$$

kde je:

I_{Ph}	intenzita přímého slunečního záření na plochu kolmou ke slunečným paprskům [W.m ⁻²]
I_0	sluneční konstanta 1358 [W.m ⁻²]

Intenzita difuzního slunečního záření dopadající na obecnou rovinu:

$$I_D = 0,5(1 + \cos \alpha)I_{Dh} + 0,5r(1 - \cos \alpha)(I_{Ph} + I_{Dh}) \quad (49)$$

kde je:

r	reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky [%]
I_{Ph}	intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [W.m ⁻²]
I_{Dh}	intenzita difuzního slunečního záření na vodorovnou plochu [W.m ⁻²]

4.4.2.5. Odražené sluneční záření

Vzniká odrazem přímého i difuzního záření od okolních ploch. Toto záření je velmi špatně využitelné u vodorovných ploch.

4.4.2.6. Globální (celkové) sluneční záření

Globální záření je množství sluneční energie dopadající na vodorovnou plochu a je dáno součtem přímého, difuzního a odraženého záření. Difuzní záření za jasného počasí nepřekračuje hodnotu 100 W/m² a to činí 10-15% z celkového záření.

Výsledný energetický účinek slunečního záření se vypočte podle vztahu:

$$I = I_P + I_D \quad (50)$$

4.4.2.7. Energie dopadající na osluněnou plochu

Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu je dáno především oblačností. Oblačnost propouští jen část slunečního záření, které se rozptýlí do různých směrů (difuzní záření). Nejpresnějším způsobem určení množství dopadající energie je spočítat skutečnou plochu pod křivkou skutečného průběhu intenzity solárního záření. Pro zjednodušení se dá skutečný průběh intenzity záření rozdělit podle časových fází na úseky jasné a zatažené oblohy.

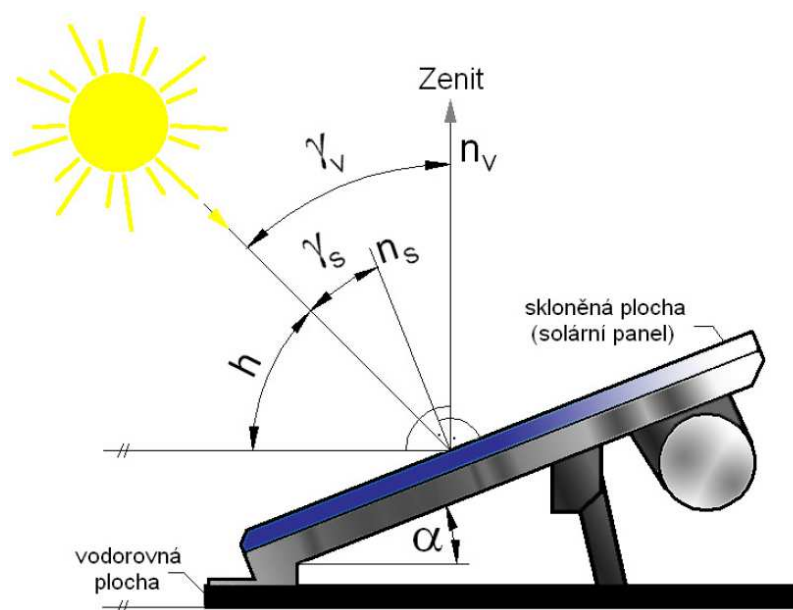
V našem případě, kdy známe průměrné hodinové hodnoty intenzit slunečního záření v daném období, je způsob určení množství dopadající energie na jednotkovou plochu následující. Průměrná intenzita slunečního záření v každé hodině se počítala pomocí průměru v intervalu 60 minut. Tím se všemi naměřené hodnoty v daném intervalu nahradili jednou konstantní hodnotou. Za předpokladu konstantního záření po určitou dobu dopadne na osluněnou plochu množství energie úměrné této době. Při konstantním záření 500 W.m^{-2} po dobu jedné hodiny dopadne na ozářenou plochu 500 Wh.m^{-2} . Známe-li tedy průměrné hodinové intenzity v jednotlivých dnech, můžeme stanovit množství energie dopadající na osluněnou plochu jejich součtem.

4.4.2.8. Rozdíly dopadajícího záření na vodorovnou a nakloněnou plochu

Velikost intenzity slunečního záření na vodorovné ploše je odlišná od velikosti intenzity slunečního záření na ploše šikmé. Tento rozdíl intenzit je dán odlišným úhlem dopadu paprsků slunečního záření na

vodorovnou a šikmou plochu. Velikost intenzity přímé složky slunečního záření je úměrná cosinu úhlu od normály osluněné plochy ke slunečním paprskům (viz Obr. 10).

Největší intenzity slunečního záření se dosáhne v okamžiku, kdy budou sluneční paprsky dopadat kolmo na osluněnou plochu. Intenzita slunečního záření bude s rostoucím úhlem klesat, až do okamžiku kdy bude směr dopadajících slunečních paprsků rovnoběžný s osluněnou plochou, kdy je intenzita slunečního záření dána pouze její difúzní složkou [27].

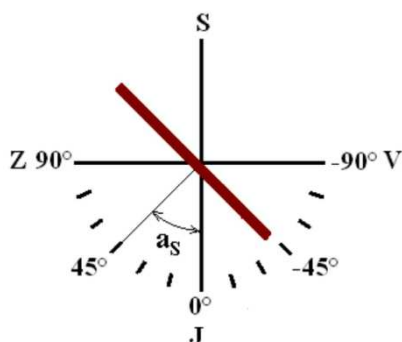


Obr. 10. Geometrie dopadu slunečního paprsku na osluněnou plochu [27]

kde je:

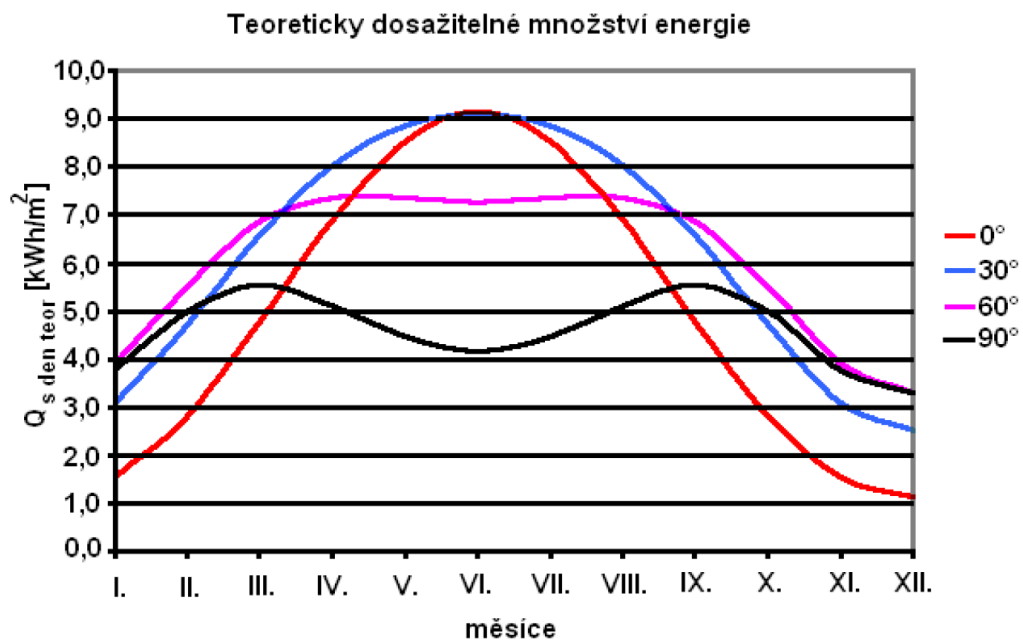
γ_v	úhel dopadu paprsku na vodorovnou plochu
γ_s	úhel dopadu paprsku na skloněnou plochu
n_v	normála vodorovné plochy
n_s	normála skloněné plochy
h	výška Slunce na obloze
α	úhel sklonu plochy

Parametry osluněné plochy jsou dány její rozlohou, sklonem a orientací. Sklonem osluněné plochy rozumíme úhel, který svírá s vodorovnou rovinou. Orientace plochy je dána její pozicí vůči světovým stranám (azimutový úhel α_s viz Obr. 11).



Obr. 11. Azimutový úhel plochy [27]

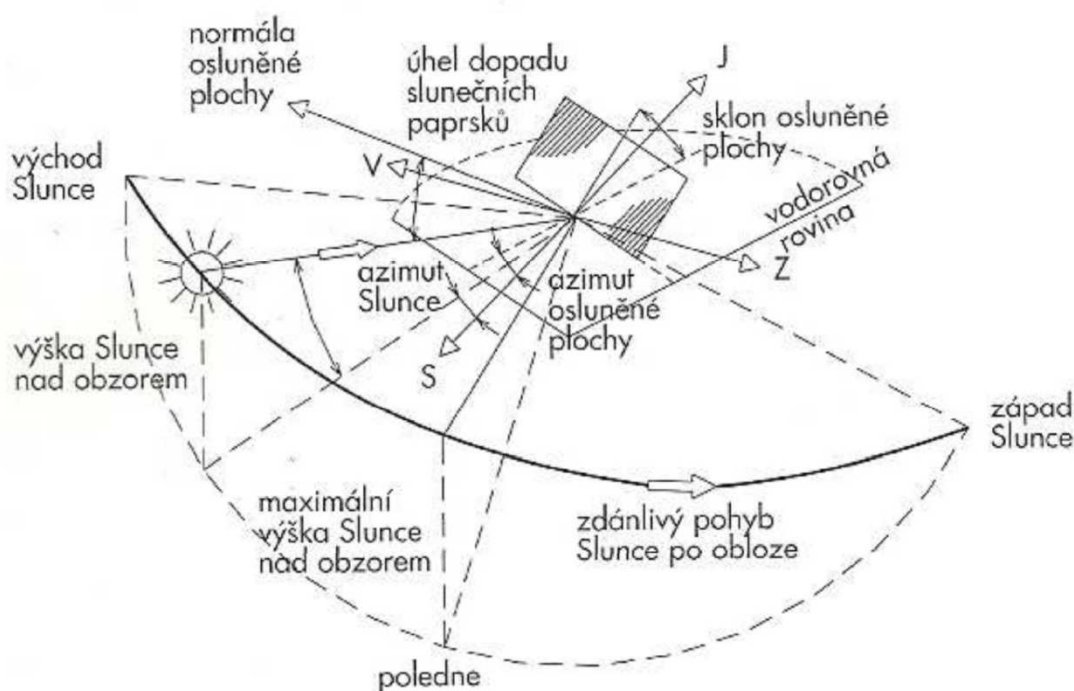
Porovnání teoretický dosažitelných energetických zisků jižně orientované plochy s různým sklonem je vyobrazeno na Obr. 12. V letním období je vhodné provozovat solární zařízení se sklonem 25° až 35° a v zimním období 60° až 90° . Pro celoroční provoz je optimální sklon plochy 40° až 45° . Nejlépe je vždy orientovat plochu na jih ($\pm 30^\circ$).



Obr. 12. Teoretické energetické zisky při různém sklonu osluněné plochy s orientací na jih [27]

4.4.3. Poloha Slunce na obloze

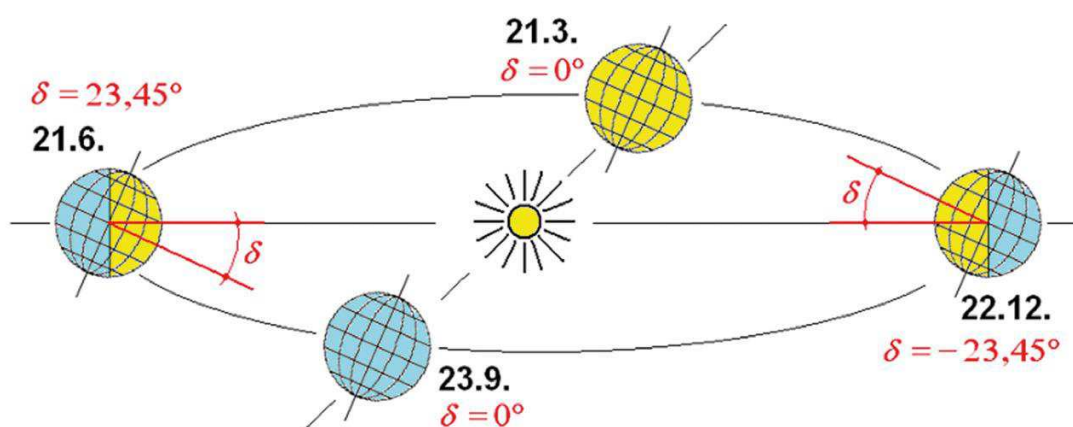
Pro určení intenzity slunečního záření je nezbytné znát polohu Slunce na obloze. Mezi nejpodstatnější veličiny patří deklinace, výška Slunce nad horizontem, azimut slunce a sluneční časový úhel. Pro výpočty daných veličin je potřeba znát zeměpisné údaje měřeného místa, datum dne výpočtu a čas.



Obr. 13. Sluneční souřadnice na obloze [2]

4.4.3.1. Deklinace

Při pohybu Země okolo Slunce je rovina rovníku odkloněná od roviny oběžné dráhy o $23,45^\circ$, to zapříčiňuje v průběhu roku neustálou změnu polohy Slunce vzhledem na místo posuzování na zemském povrchu. Tuto roční změnu vyjadřujeme pomocí deklinace Slunce δ . Deklinace Slunce se během roku mění od $-23,45^\circ$ v den zimního slunovratu do $+23,45^\circ$ v den letního slunovratu. Nulovou hodnotu dosahuje v jarní a podzimní rovnodennosti, kdy slunečné paprsky dopadají na zemský povrch rovnoběžně s rovinou rovníku viz Obr. 14 [2].



Obr. 14. Znáznornění deklinace Slunce [28]

Přesné hodnoty δ se odvozují z astronomických pozorování. Na výpočet oslunění budov je možné s dostatečnou přesností určit deklinaci Slunce ze vztahů:

$$\begin{aligned}\delta &= 23,45^\circ \sin(t - 109^\circ) \\ t &= 0,98^\circ D + 29,7^\circ M\end{aligned}\tag{51}$$

kde je: D číslo dne v době posuzování
 M číslo měsíce v době posuzování

4.4.3.2. Hodinový úhel Slunce

Pomocí hodinového úhlu Slunce τ se vyjadřuje vliv denní oblohy na změnu vzájemné polohy Slunce a místa posuzování na zemském povrchu. Pravý slunečný čas je časový interval mezi dvěma vrchními kulminacemi Slunce nad místem posuzování. Pravý sluneční čas v úhlové míře se určuje z podmínky $24\text{h} = 360^\circ$, kde začátek úhlové stupnice je v okamžiku kulminace Slunce. Vztah vyjadřuje skutečnost, že se Země otočí o 15° každou hodinu. Hodinový úhel Slunce τ se vypočítá ze vztahu [2]:

$$\tau = 15^\circ(\text{PSČ} - 12)\tag{52}$$

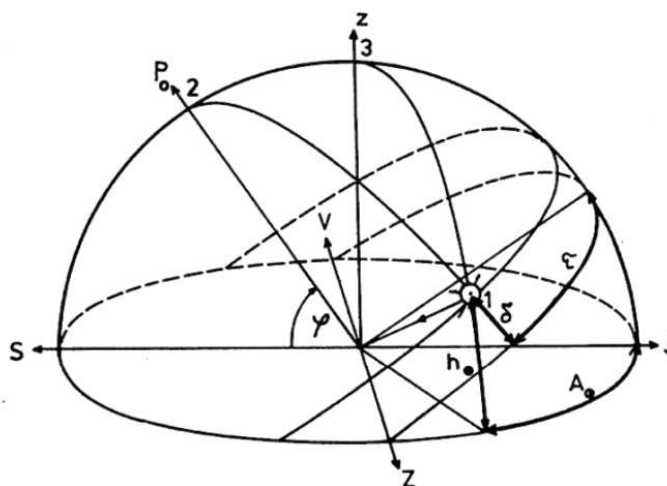
kde je: PSČ pravý sluneční čas

4.4.3.3. Výška Slunce nad horizontem

Polohu Slunce vzhledem na horizontální rovinu v místě posuzování definujeme výškou Slunce h_o . Je to úhel, který svírá slunečný paprsek s horizontální rovinou. Geografickou polohu místa posuzování definujeme jeho zeměpisnou šířkou φ , neboli úhlem, který svírá zenitová přímka s rovinou rovníku [2].

$$\sin h_o = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (53)$$

kde je: φ zeměpisná šířka
 δ zeměpisná délka

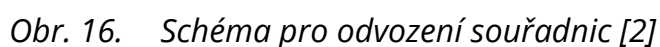


Obr. 15. Schéma pro odvození souřadnic Slunce [2]

4.4.3.4. Azimut Slunce

Azimut Slunce A_o je úhel, který svírá průmět slunečního paprsku na horizontální rovinu v místě posuzování s jižním směrem. Azimut Slunce směrem k východu má záporné znaménko a směrem k západu má znaménko kladné. Platí vztah [8]:

$$\cos A_o = \frac{\tan \varphi}{\cos h_o} \left(\sin h_o - \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} \right) \quad (54)$$



Úhel dopadu ϑ je úhel, který svírá slunečný paprsek s normálou na rovinu posuzování. Polohu roviny posuzování udává sklon a orientaci roviny k světovým stranám. Sklon roviny γ udává úhel, který na vnitřní straně svírá jeho spádová přímka s vodorovnou rovinou. Je odvozen ze vztahu [2]:

54

4.4.4. Měření slunečního záření

4.4.4.1. Měření přímého slunečního záření

Pro měření přímého slunečního záření se používá tzv. pyrhelimetr viz Obr. 18, který má navíc od pyranometru stínění difúzní složky záření. Je umístěn na pohyblivém zařízení, které sleduje pohyb slunce po obloze. Pokud chceme měřit přímé sluneční záření pouze na určitých vlnových délkách, musí být pyrhelimetr vybaven vyměnitelnými filtry.



Obr. 18. Pyrhelimetr [29]

4.4.4.2. Měření difúzního slunečního záření

K měření difúzního slunečního záření se používají pyranometry opatřené stínícím přístrojem, který brání dopadu přímé sluneční složky. Obvykle se používá stínící prstenec nebo tzv. sun tracker. Sun tracker je zařízení, které sleduje pohyb Slunce na obloze a podle něho natáčí stínící koule viz Obr. 19a. Stínící prstenec je většinou z černě eloxovaného hliníku o průměru cca 60 cm a šířce 7,5 cm viz Obr. 19b. Narozdíl od sun trackeru nepotřebuje tenhle způsob sledování pohybu Slunce. Prstenec se přenastavuje jednou za cca 14 dní pouze při změně deklinace.

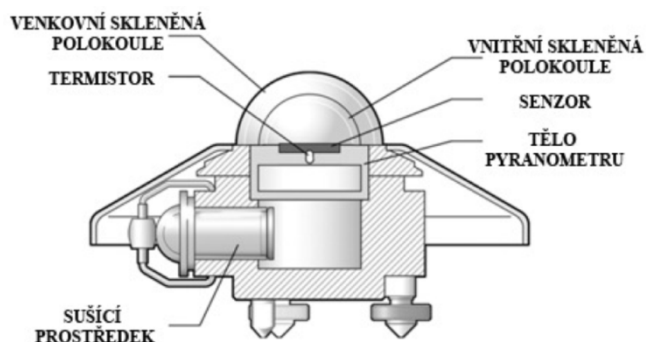
..



Obr. 19. a) Sun Tracker, b) Pohyblivá kruhová clona [30]

4.4.4.3. Měření globálního záření

K měření celkového slunečního záření se využívají tzv. pyranometry viz Obr. 20. Pyranometr porovnává teplotu oslněné a neoslněné plochy, nebo rozdíl teplot na černém a bílém povrchu, který je ukryt pod skleněným krytem. Teplotní rozdíl na těchto plochách určuje intenzitu dopadajícího záření. Přesné a kvalitní pyranometry obsahují velký počet sériově řazených termočlánků, pro zajištění dostatečně velkého výstupního napětí.



Obr. 20. Pyranometr Kipp&Zonen CM6B [31]

Čidlo, které porovnává rozdíl teplot pomocí termočlánků na bílé a černé ploše vytváří podle ozáření napětí. Tohle napětí odpovídá intenzitě dopadajícího záření. Převod dopadající energie na teplo černých a bílých oblastí zajišťuje frekvenční nezávislost pro tento typ pyranometru.

Druhým typem jsou pyranometry na bázi solárního článku. Obsahují malý fotovoltaický článek, který s velikostí ozáření vytváří odpovídající proud. Hlavní nevýhodou je nepřesnost pyranometru, jelikož fotovoltaický článek pohltí pouze určitou část spektra, což způsobí chybu měření.

4.4.5. Vlivy ovlivňující sluneční záření

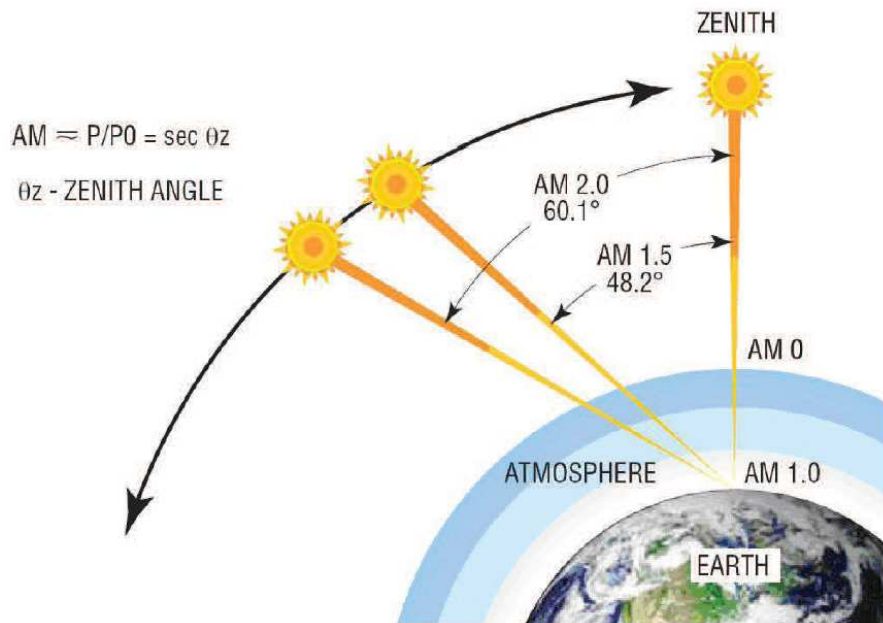
4.4.5.1. Vliv tloušťky vrstvy atmosféry tzv. AM faktor

Zasadní vliv na sluneční záření, které dopadá na Zemi má stav atmosféry - zejména oblačnost, jelikož jsou mraky největší překážkou mezi slunečním zářením a zemským povrchem. Část dopadajícího záření je od mraků odražena a zbytek je rozptýlen do různých směrů. Tímto způsobem vzniká difúzní záření, které z energetického hlediska není příliš využitelné.

Důležitým faktorem je tloušťka vrstvy vzduchu, kterou musejí sluneční paprsky překonávat. Tloušťku vrstvy vzduchu tzv. „Air Mass“ faktor určuje především výška Slunce nad obzorem (viz Obr.21) a nadmořská výška. Nachází-li se Slunce v zenitu (tzv. nadhlavníku) je AM faktor = 1. Sluneční paprsky svírají v tomto případě s horizontální rovinou na povrchu Země pravý úhel a tzv. zenitový úhel = 0. AM faktor lze určitě dle:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta}, \text{ pro } \theta = 0^\circ - 80^\circ [-] \quad (56)$$

kde je: θ úhel mezi Sluncem v zenitu a výchozí polohou (zenitový úhel)



Obr. 21. Výška Slunce nad obzorem a AM faktor [32]

4.4.5.2. Vliv znečištění atmosféry

Intenzita slunečního záření se při průchodu atmosférou snižuje, míra snížení je dána součinitelem znečištění atmosféry Z . Uvedený součinitel závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a nadmořské výšce (atmosférickém tlaku). Hodnoty znečištění atmosféry se mění v denním i ročním cyklu. Pro číselné vyjádření míry znečištění atmosféry používáme Linkeho vztah:

$$Z = \frac{\ln l_O - \ln l_n}{\ln l_O - \ln l_\zeta} \quad (57)$$

kde je:

I_0	sluneční konstanta = 1360 [W.m ⁻²]
I_n	intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší [W.m ⁻²]
I_ξ	intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonalé čistém ovzduší [W.m ⁻²]

Linkeho vztah představuje počet ideálně čistých atmosfér, které by vyvolali stejné oslabení jako reálná atmosféra. Pro výpočet sluneční radiace, ve kterém zohledňujeme součinitel znečištění atmosféry Z použijeme průměrnou hodnotu podle ročního období bez ohledu na lokální znečištění, které je zahrnuto součinitelem c_0 :

$$Z = z \cdot c_0 \quad (58)$$

kde je:

z	znečištění atmosféry [-]
c_0	lokální znečištění atmosféry [-]

Tab. 3. Příklady hodnot Linkeho součinitele znečištění atmosféry [33]

Součinitel Z	Charakteristická lokalita
2,0	Místa nad 2000 m n. m.
2,5	Místa nad 1000 m n. m.
3,0	Venkov bez průmyslové činnosti
4,0 – 5,0	Města s průmyslovou činností
krátkodobě až 8,0	Při vysoké koncentraci exhalací

V klimatologických modelech bývá Linkeho koeficient využíván jako vstupní parametr pro výpočty slunečního záření při bezoblačné obloze, a to jak přímého, difúzního tak i globálního záření. Linkeho koeficient počítá s rozptylem i absorbcí na atmosférických aerosolech i plynech, navíc platí pro celé spektrum slunečního záření.

5. VÝPOČTOVÉ METODY STANOVENÍ VLHKOSTI V KONSTRUKCÍCH DLE PLATNÝCH NOREM

Kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce můžeme vypočítat pomocí dvou výpočtových metod, které jsou uvedeny v normách [34] a [35]. Dalšími přesnějšími metodami, které můžeme pro výpočet kondenzace použít, jsou dynamické numerické metody.

5.1. Výpočet dle normy ČSN 73 0540-4

Zjednodušený stacionární fyzikální model předpovídající rozložení a kondenzaci vodních par, který vychází z tlakové podmínky (viz 5.1.4). Lze jím stanovit výskyt a množství kondenzace vodní páry v konstrukci. Výpočet hodnotí riziko vzniku kondenzace v konstrukci s přihlédnutím na funkčnost samotné konstrukce, její stabilitu, tepelně technické vlastnosti atd. Druhou možností je vypočítat roční bilanci zkondenzované a vypařitelné vodní páry. Tu stanovíme rozdílem ročního množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ a ročního množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$.

5.1.1. Okrajové podmínky

Pro kondenzaci vodní páry se používají zimní návrhové okrajové podmínky podle normy [37].

5.1.2. Difúzní odpor konstrukce

V konstrukci, kde uvažujeme jednorozměrné šíření vlhkosti, určíme difúzní odpor konstrukce Z_p [$m \cdot s^{-1}$] podle vztahu:

$$Z_p = \sum Z_{p,j} \quad (59)$$

kde je: $Z_{p,j}$ difúzní odpor každé j-té vrstvy konstrukce [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], stanoven ze vztahu:

$$Z_{p,j} = \frac{s_{d,j}}{\delta_a} = \frac{d_j}{\delta} \quad (60)$$

kde je: $s_{d,j}$ ekvivalentní difúzní tloušťka každé j-té vrstvy konstrukce [m], stanovená ze vztahu:

$$s_{d,j} = \mu_j \cdot d_j \quad (61)$$

kde je: d_j tloušťka každé j-té vrstvy konstrukce [m]
 μ_j faktor difúzního odporu materiálu každé j-té vrstvy konstrukce [-], stanovený podle normy [37] ze vztahu:

$$\mu_j = \frac{\delta_a}{\delta_j} \quad (62)$$

kde je: δ_j součinitel difúzní vodivosti materiálu každé j-té vrstvy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$], popř. [s]
 δ_a součinitel difúzní vodivosti vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$], popř. [s], který závisí na teplotě a atmosférickém tlaku a je dán vztahem:

$$\delta_a = \frac{(273,15 + \theta_{j,m})^{0,81}}{5,25 \cdot 10^6 \cdot p_a} \quad (63)$$

kde je: $\theta_{j,m}$ průměrná teplota materiálu j-té vrstvy [°C]
 p_a atmosférický tlak vzduchu [Pa], stanovený
přibližně ze vztahu:

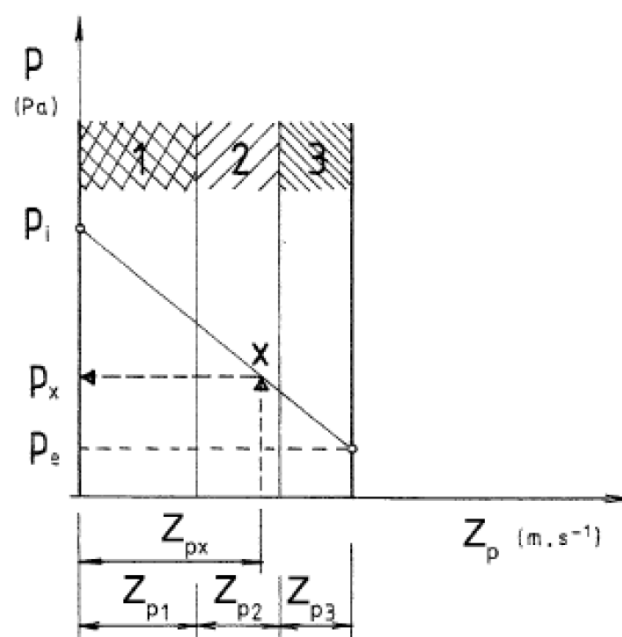
$$p_a = 101\,700 \cdot \frac{16\,300 - h}{16\,300 + h} \quad (64)$$

kde je: h nadmořská výška místa konstrukce [m]

5.1.3. Parciální tlak vodní páry v konstrukci

Stanovení parciálního tlaku vodní páry v konstrukci se dá stanovit dvěma způsoby:

- a) přibližnou metodou, graficko – výpočtovou metodou, kdy si pomocí obrázku znázorníme konstrukci v příčném řezu. Konstrukce je rozdělena do jednotlivých vrstev, které jsou vyneseny vedle sebe v tloušťkách difúzního odporu Z_{p1} , Z_{p2} atd. Částečné tlaky vodní páry nakreslíme jako spojnicí tlaků p_i a p_e . Pomocí tohoto náčrtku můžeme odečíst částečný tlak vodní páry v jakémkoliv místě s hodnotou p_x , kterému odpovídá difúzní odpor Z_{px} viz Obr. 22.



Pozn. Graf zpracován pro $Z_{pi} \approx 0$, $Z_{pe} \approx 0$

Obr. 22. Stanovení parciálního tlaku dle graficko-výpočtové metody [34]

b) přesnější metodou dle vztahu:

$$p_x = p_i - \frac{Z_{pi} + Z_{px}}{Z_{pT}} \cdot (p_i - p_e) \quad (65)$$

kde je:

p_i	parciální tlak vodní páry ve vzduchu na vnitřní straně konstrukce [Pa]
p_e	částečný tlak vodní páry ve vzduchu na vnější straně konstrukce [Pa]
Z_{px}	difúzní odpor části konstrukce od jejího vnitřního povrchu k místu x [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
Z_{pT}	odpor konstrukce při prostupu vodní páry [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], stanovený ze vztahu:

$$Z_{pT} = Z_{pi} + Z_p + Z_{pe} \quad (66)$$

kde je:	Z_{pi}	odpor při přestupu vodní páry na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
	Z_p	difúzní odpor konstrukce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
	Z_{pe}	odpor při přestupu vodní páry na vnější straně konstrukce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Pozn.: Hodnoty Z_{pi} a Z_{pe} jsou proti Z_p velmi malé, proto jsou obvykle ve výpočtu zanedbávány a vztah je tak zjednodušen na $Z_{pT} = Z_p$.

5.1.4. Kondenzace vodní páry v konstrukci – tlaková podmínka

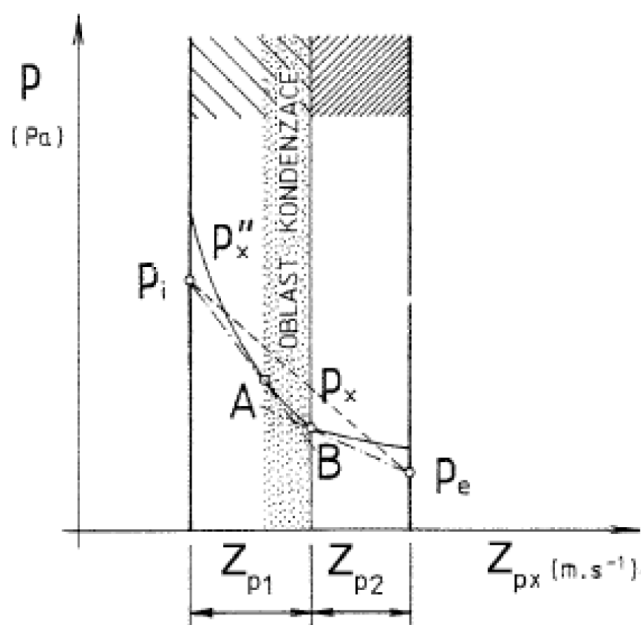
Výskyt kondenzace v kterémkoliv místě v konstrukci posuzujeme tlakovou podmínkou, pokud je podmínka splněna, ke kondenzaci nedochází. Tlaková podmínka má tvar:

$$p_{\text{sat},x} > p_x \quad (67)$$

kde je:	$p_{\text{sat},x}$	parciální tlak nasycené vodní páry v místě x [Pa]
	p_x	parciální tlak vodní páry v místě x [Pa]

Tuto tlakovou podmínku můžeme stanovit dvěma způsoby:

- přibližnou metodou, graficko – výpočtovou metodou. Pomocí grafického znázornění konstrukce v příčném řezu zjistíme, zda lineární závislost parciálního tlaku vodní páry uvnitř konstrukce p_x je nižší než lomená křivková závislost částečného tlaku nasycené vodní páry $p_{\text{sat},x}$ a to ve všech místech konstrukce – viz obrázek 23. Tloušťka jednotlivých vrstev konstrukce je opět vynesena v difúzních odporech Z_{p1} , Z_{p2} atd.



Pozn. Graf zpracován pro $Z_{p1} \approx 0$, $Z_{pe} \approx 0$

Obr. 23. Schéma výpočtu výskytu kondenzace vodní páry v konstrukci dle graficko-výpočtové metody [34]

- b) přesnější metodou, numerickou metodou. Každou část konstrukce z určitého materiálu rozdělíme na menší, ale pravidelné mezivrstvy. Jednotlivé mezivrstvy mají tepelný odpor menší než N-tý díl celkového tepelného odporu konstrukce. Tlakové podmínce musí vyhovět každé rozhraní jednotlivých vrstev i nových mezivrstev.

5.1.5. Oblast kondenzace

Nalezení oblasti kondenzace v konstrukci je pokračováním ve výpočtu kondenzace vodní páry v konstrukci, proto ji lze nalézt stejnými dvěma způsoby:

- a) přibližnou metodou, graficko – výpočtovou metodou. Oblast kondenzace najdeme grafickým znázorněním v Obr. 23. Prvním krokem je nakreslení tečen z bodů p_i a p_e k lomené křivce p_{sat} . Pomocí těchto tečen a lomené čáry vzniknou body dotyku – A a B.

Po nakreslení rozhraní vedeného těmito body dostaneme vymezenou oblast kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce pro sledovanou teplotu venkovního vzduchu θ_e .

- b) přesnější metodou, numerickým výpočtem. Body dotyku tečen a křivky p_{sat} hledáme ve vrstvách konstrukce, ve kterých byl podle tlakové podmínky zjištěn počátek a konec kondenzace.

5.1.6. Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry

Roční bilanci stanovíme výpočtem po měsících podle normy [35], viz níže podkapitola 5.2.5 5.2.6. Druhou možností je výpočet jako rozdíl ročního množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ a ročního množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$ podle normy [34].

Roční bilanci zkondenzované a vypařitelné vodní páry vypočítáme na základě opakovaného výpočtu dílčích množství $M_{a,j}$ pro jednotlivé teploty venkovního vzduchu $\theta_{ae,j}$, které při kroku $\Delta\theta_e = 5$ K pokrývají rozsah teplot venkovního vzduchu v ročním průběhu.

Dílčí množství zkondenzované nebo vypařitelné vodní páry $M_{a,j}$ v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, (podle znaménka) stanovíme:

- a) přibližně:

$$M_{a,j} = (g_{A,j} - g_{B,j}) \cdot t_{e,j} \quad (68)$$

kde je: $g_{A,j}$ hustota difúzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]

$g_{B,j}$	hustota difúzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
$t_{e,j}$	celková doba trvání teploty venkovního vzduchu $\theta_{e,i}$ pro j-tou vrstvu dle normy [37] podle teplotní oblasti v zimním období

- b) přesněji, pro nezastíněné neodvětrané ploché střechy, na které bude po celou dobu jejich životnosti nerušeně dopadat sluneční záření:

$$M_{a,j} = M_{az,j} + M_{aj,j} \quad (69)$$

kde je:	$M_{az,j}$	dílčí množství zkondenzované (vypařitelné) vodní páry pro zataženou oblohu, podle vztahu (68) pro dobu trvání zatažené oblohy $t_{z,j}$ při teplotě venkovního vzduchu při zatažené obloze $\theta_{ae,j}$
	$M_{aj,j}$	dílčí množství zkondenzované (vypařitelné) vodní páry pro jasnou oblohu, podle vztahu (68) pro dobu trvání jasné oblohy $t_{i,j}$ při ekvivalentní teplotě venkovního vzduchu při jasné obloze $\theta_{ae,ev}$, která se stanoví podle normy [37]

Hustotu difúzního toku vodní páry proudící konstrukcí od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace g_A [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$], stanovíme ze vztahu:

$$g_A = \frac{p_i - p_{sat,A}}{Z_{pA}} \quad (70)$$

Hustotu difúzního toku vodní páry proudící konstrukcí od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu g_B [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] se stanoví ze vztahu:

$$g_B = \frac{p_{sat,B} - p_e}{Z_{pB}} \quad (71)$$

kde je:

Z_{pA}	je difúzní odpor od vnitřního povrchu konstrukce k hranici A oblasti kondenzace [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
Z_{pB}	difúzní odpor od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu konstrukce [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
$p_{sat,A}$	částečný tlak nasycené vodní páry na hranici A oblasti kondenzace [Pa]
$p_{sat,B}$	částečný tlak nasycené vodní páry na hranici B oblasti kondenzace [Pa].

Roční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ je součtem nezáporných hodnot dílčích množství $M_{a,j}$. Roční množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$ je součtem záporných hodnot dílčích množství $M_{a,j}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$] [34].

5.2. Výpočet dle normy ČSN EN ISO 13788

Výpočet stanovuje roční vlhkostní bilanci a nejvyšší množství akumulované vlhkosti způsobené kondenzací uvnitř konstrukce. Předpokladem výpočtu je vyschnutí veškeré zabudované vlhkosti.

5.2.1. Okrajové podmínky

Před zahájením samotného výpočtu stanovíme okrajové podmínky, kterými jsou vnitřní a vnější teploty a vlhkosti prostředí. Vnější podmínky charakterizují umístění budovy. Vnitřní podmínky se volí podle druhu výpočtu a podle očekávaného druhu využití budovy.

Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry se stanovuje výpočtem po měsících, ve kterých jsou vyžadovány měsíční hodnoty klimatických údajů.

5.2.2. Zahájení výpočtu, počáteční měsíc

Samotný výpočet začíná stanovením počátečního měsíce, ten se stanoví jako první měsíc v roce, ve kterém se předpokládá kondenzace. Počáteční měsíc stanovíme výpočtem teploty, částečným tlakem nasycené vodní páry a rozložením vodní páry napříč konstrukcí a určíme, zda se může vyskytnout kondenzace. Výpočet opakujeme pro postupně za sebou jdoucí měsíce, dokud nenalezneme měsíc, ve kterém nastane kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce.

5.2.3. Rozdělení stavební konstrukce, tepelná odpor, ekvivalentní difúzní tloušťka

Stavební konstrukci, kterou posuzujeme, rozdělíme na soustavu rovnoběžných vrstev a rozhraní mezi nimi. Každá vrstva má své fyzikální vlastnosti a povrchové součinitele. Dalším krokem výpočtu je stanovení tepelného odporu R a ekvivalentní difúzní tloušťky s_d pro každou vrstvu. Nyní můžeme vypočítat součtový tepelný odpor a ekvivalentní difúzní tloušťku od vnějšího prostředí ke každému rozhraní n podle vztahu:

$$R'_n = R_{se} + \sum_{j=1}^n R_j \quad (72)$$

$$s'_{d,n} = \sum_{j=1}^n s_{d,j} \quad (73)$$

Vztah pro odpor při prostupu tepla a celkovou ekvivalentní tloušťku je následující:

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^N R_j + R_{se} \quad (74)$$

$$s'_{d,T} = \sum_{j=1}^N s_{d,j} \quad (75)$$

kde je:	R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
	R_j	tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
	R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$];
	$s_{d,j}$	ekvivalentní difúzní tloušťka j-té vrstvy konstrukce [m]

5.2.4. Rozložení teploty a parciálního tlaku nasycené vodní páry

Pro výpočet kondenzace je nutné znát rozložení teplot a částečného tlaku nasycené vodní páry. Pro tyto údaje nám poslouží následující výpočtové vztahy. Pro teplotu na jednotlivých rozhraních mezi materiály platí:

$$\theta_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (76)$$

kde je:	R'_n	tepelný odpor na n-tém rozhraní [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
	R'_T	celkový tepelný odpor konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
	θ_i	návrhová vnitřní teplota v zimním období [$^{\circ}\text{C}$]
	θ_e	návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období [$^{\circ}\text{C}$]

Pokud známe teplotu, použijeme empirický vzorec a dopočítáme částečný tlak nasycené vodní páry:

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\left(\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}\right)} \quad \text{pro } \theta \geq 0^\circ\text{C} \quad (77)$$

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\left(\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}\right)} \quad \text{pro } \theta < 0^\circ\text{C} \quad (78)$$

V grafu na x-ovou souřadnici budeme vynášet tloušťku každé vrstvy odpovídající difúzní tloušťce s_d a na každé rozhraní vrstev ve směru y-nové souřadnice vyneseme hodnotu parciálního tlaku nasycené vodní páry. Do stejného obrázku se vykreslí i průběh parciálního tlaku vodní páry jako přímka mezi interiérem a exteriérem. Pokud tato přímka nepřesáhne na žádném rozhraní spojnici parciálních tlaků nasycených vodních par, můžeme říct, že kondenzace v konstrukci nenastává.

Pokud přímka parciálního tlaku vodní páry překročí spojnici parciálního tlaku nasycené vodní páry na jakémkoliv rozhraní je nutné příčný řez překreslit tak, aby se jednotlivé přímky dotýkaly a vznikly na rozhraních tzv. body kondenzačního rozhraní.

5.2.5. Výpočet zkondenzovaného množství

Zkondenzované množství vodní páry je rozdíl mezi množstvím přicházející vlhkosti a odcházející vlhkosti vzhledem ke kondenzačnímu rozhraní. Výpočet zkondenzovaného množství vodní páry je závislý na počtu kondenzačních rozhraní. Pokud jsme z předcházejících kroků stanovili pouze jedno kondenzační rozhraní, použijeme k výpočtu tento vztah:

$$g_c = \delta_a \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \quad (79)$$

Ve stavebních konstrukcích s více než jedním kondenzačním rozhraním provádíme výpočet jednotlivě pro každé rozhraní. Pro případ dvou kondenzačních rozhraní se použijí vztahy:

$$g_{c1} = \delta_a \cdot \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \quad (80)$$

$$g_{c2} = \delta_a \cdot \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \quad (81)$$

kde je:	δ_a	součinitel	difúzní	vodivosti
		vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$]		
	p_i	parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu [Pa]		
	p_e	parciální tlak vodní páry venkovního vzduchu [Pa]		
	p_c, p_{c1}	parciální tlak vodní páry při kondenzaci resp. při kondenzaci na určitém rozhraní [Pa]		
	$s'_{d,c}$	ekvivalentní difúzní tloušťka konstrukce do rozhraní kondenzace [m]		
	$s'_{d,T}$	ekvivalentní difúzní tloušťka celé konstrukce [m]		

5.2.6. Vypařování

Pro stanovení roční vlhkostní bilance je nutné vypočítat i množství vypařené vodní páry. Postup je zde obdobný jako u výpočtu zkondenzovaného množství vodní páry. Vypařené množství vodní páry vypočítáme jako:

$$g_{ev} = \delta_a \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \quad (82)$$

Pro dvě vypařovací rozhraní se množství stanoví podle vztahů:

$$g_{ev1} = \delta_a \cdot \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \quad (83)$$

$$g_{ev2} = \delta_a \cdot \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \quad (84)$$

Pokud by při výpočtu došlo k akumulaci množství kondenzátu na rozhraní vrstev na konci měsíce do záporných hodnot, pak se položí rovno nule.

5.2.7. Posouzení konstrukcí

Podle výpočtové metody uvedené v normě [35] pro výpočet kondenzace uvnitř konstrukce mohou nastat tři vyhodnocení:

- a) U konstrukce se nepředpokládá žádná kondenzace na žádném rozhraní v žádném měsíci, výpočet tento předpoklad potvrdí. V tomto ideálním případě ji označíme jako konstrukci bez vnitřní kondenzace.
- b) Předpokládáme kondenzaci na jednom nebo více rozhraních, ale pro dotčené rozhraní se předpokládá vypaření kondenzátu během letních měsíců. Zde je nutné uvést nejvyšší dosažené množství v určitém měsíci a celkovou roční bilanci zkondenzovaného a vypařeného množství vodní páry. Musí být uvažováno s postupnou degradací stavebních materiálů a zhoršení tepelně izolačních vlastností konstrukce.
- c) Předpokládáme kondenzaci na jednom nebo více rozhraních a její neúplné vypaření během letních měsíců. Zde je konstrukce nevyhovující, uvedeme maximální množství kondenzátu, které se v konstrukci vyskytuje na každém rozhraní a množství zbytkového

kondenzátu po vypaření části vlhkosti po 12 měsících na každém rozhraní [35].

5.2.8. Požadavky na šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích

Požadavky na šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích jsou uvedeny v normě [36].

Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c v $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}]$, mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. V případě, že k ohrožení konstrukce nedojde, platí limity uvedené v kapitole 6.1.2 této normy:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (85)$$

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším zateplovacím systémem nebo vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (86)$$

Nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ se použije 6 % jeho plošné hmotnosti; pro ostatní stavební konstrukce je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (87)$$

Nebo 5 % plošné hmotnosti, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; pro materiál s

objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg.m}^{-3}$ se použije 10 % jeho plošné hmotnosti [36].

5.3. Numerické metody – software WUFI 2D

Pro výpočet průběhu teplot a kondenzace vodní páry lze jednotlivé konstrukce a okrajové podmínky vymodelovat ve výpočetních programech. V mém případě jsem použil software WUFI 2D.

WUFI 2D je software pro dynamické modelování dvourozměrného šíření tepla, vlhkosti a energie ve stavebních konstrukcích a materiálech. Software využívá moderní poznatky z oblasti stavební fyziky a tepelné techniky a sleduje vývoj v českých a evropských technických normách.

5.3.1. Modelování transportních jevů

Unikátní použití diferenciálních rovnic na základě [8] umožňuje na rozdíl od zastaralých výpočetních postupů zahrnout při modelování šíření tepla a vlhkosti konstrukcí následující fyzikální jevy:

- orientaci stavební konstrukce vůči světovým stranám
- sklon konstrukce vůči horizontální rovině
- vliv barvy vnějšího povrchu stavební konstrukce na šíření tepla
- akumulaci tepla v konstrukci
- závislost součinitele tepelné vodivosti materiálu na množství vlhkosti v materiálu
- akumulaci vlhkosti v konstrukci
- závislost faktoru difúzního odporu na množství vlhkosti v materiálu
- šíření kapalně vlhkosti v porézních materiálech
- absorpci hnaného deště na vnější povrch stavební konstrukce

5.3.2. Databáze okrajových podmínek

Software WUFI 2D využívá rozsáhlou databázi vnějších a vnitřních okrajových podmínek naměřených po celém světě. Použití této rozsáhlé databáze umožňuje modelovat nejrůznější tepelně vlhkostní zatížení stavebních konstrukcí. Do databáze je možné přidávat vlastní vnější i vnitřní okrajové podmínky. Databáze obsahuje nejčastěji měřené hodinové hodnoty těchto veličin:

- vnější teplotu vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
- relativní vlhkost vnějšího vzduchu [%]
- množství srážek [mm]
- rychlost větru [m.s^{-1}]
- směr větru [$^{\circ}$]
- přímé sluneční záření [W.m^{-2}]
- difúzní sluneční záření [W.m^{-2}]
- dlouhovělné záření oblohy [W.m^{-2}]

Databáze vnitřních okrajových podmínek obsahuje parametry vnitřního vzduchu podle českých technických norem [35] [38].

5.3.3. Databáze materiálů

Databáze materiálů obsahuje vlastnosti přes 600 stavebních materiálů naměřených ve výzkumných ústavech po celém světě. Do databáze je možné přidat svoje vlastní materiály. Databáze obsahuje naměřené hodnoty například těchto veličin:

- objemová hmotnost [kg.m^{-3}]
- porosita [$\text{m}^3.\text{m}^{-3}$]
- měrná tepelná kapacita [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
- součinitel tepelné vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] (v závislosti na množství vlhkosti v materiálu)
- faktor difúzního odporu [-] (v závislosti na množství vlhkosti v materiálu)
- sorpční isothermu (rovnovážnou vlhkost),

- součinitel kapilárního transportu vlhkosti - sání [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] (v závislosti na množství vlhkosti v materiálu),
- součinitel kapilárního transportu vlhkosti - redistribuce [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] (v závislosti na množství vlhkosti v materiálu)

5.3.4. Simulování tepelně vlhkostních jevů

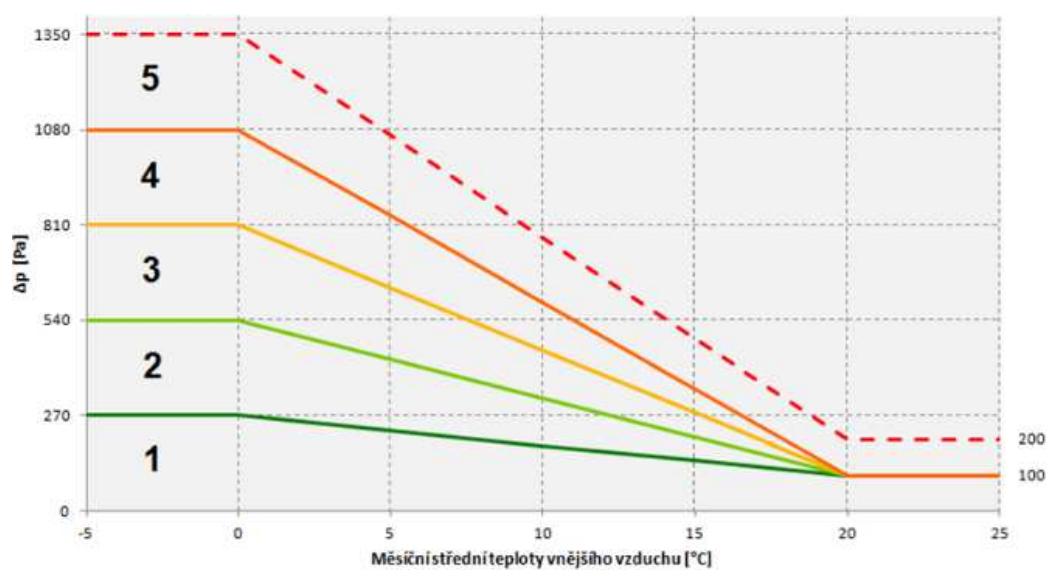
Dynamiccké kontinuální modelování s libovolným časovým krokem (běžně 1 hodina) umožňuje modelovat nejrůznější fyzikální děje, které se běžně vyskytují ve stavebních konstrukcích a materiálech, například:

- čas potřebný k vysušení vlhké konstrukce
- riziko kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce
- riziko růstu plísní na vnitřním povrchu konstrukce
- vliv hnaného deště na chování obvodové konstrukce
- riziko nadměrné akumulace vlhkosti uvnitř stavební konstrukce
- chování konstrukce při zatékání dešťové vody
- porovnání různých skladeb při rekonstrukci stávající konstrukce

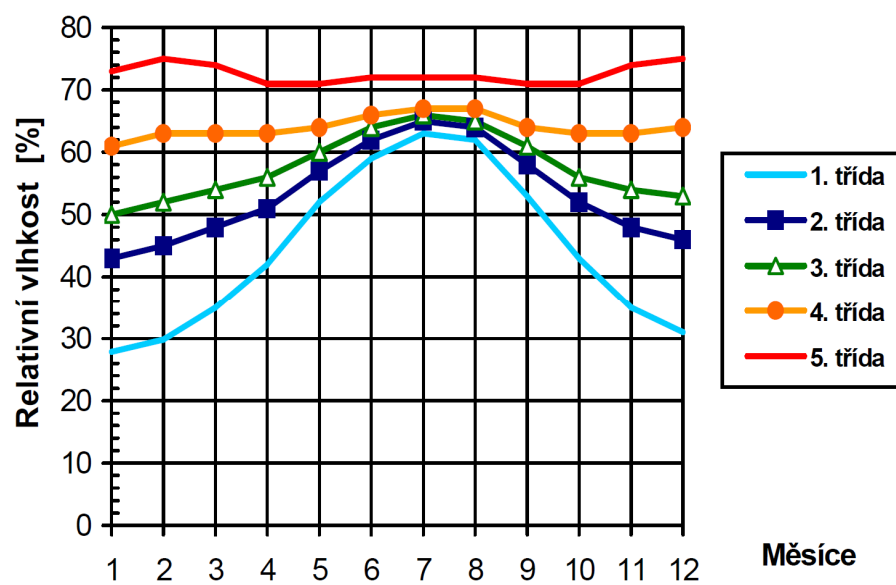
5.4. Práce se softwarem DEKSOFT - Tepelná technika 1D

5.4.1. Okrajové podmínky

Pro interiérové okrajové podmínky byla pro vnitřní vlhkostní zatížení, pro stanovení průměrných měsíčních hodnot dle ČSN EN ISO 13788, vybrána 3. vlhkostní třída. Jednotlivé třídy jsou specifikovány v příloze A.2 této normy. Pro 3. vlhkostní třídu platí návrhová vnitřní teplota $\theta_i = 20\text{ °C}$ s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i = 50\text{ %}$. Přirážka na vyrovnání rozdílu mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch byla stanovena na $\Delta\theta_{ai} = 0,6\text{ °C}$ a bezpečnostní vlhkostní přirážka $\Delta\varphi_i = 5\text{ %}$.



Obr. 24. Vlhkostní třídy pro budovy dle přílohy A.2 v normě [35]



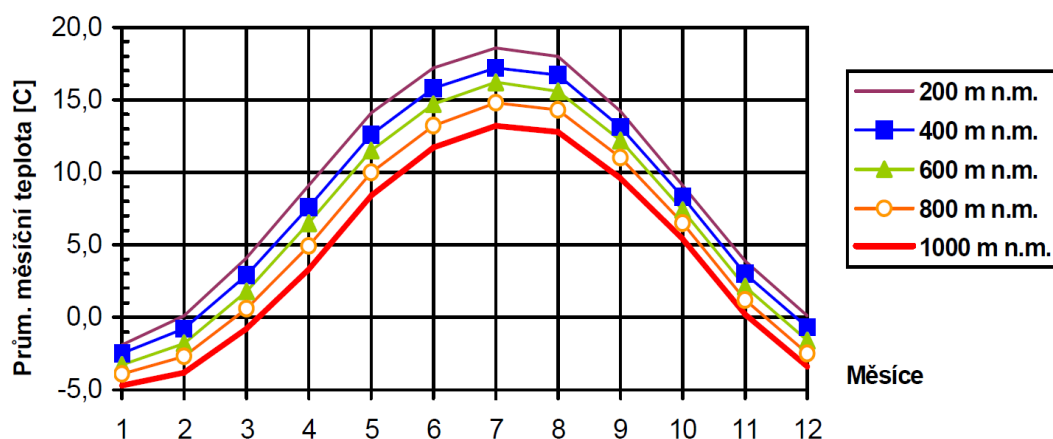
Obr. 25. Roční průběh relativních vlhkostí vnitřního vzduchu

Tab. 4. Orientační tabulka pro výběr vlhkostních tříd dle [35]

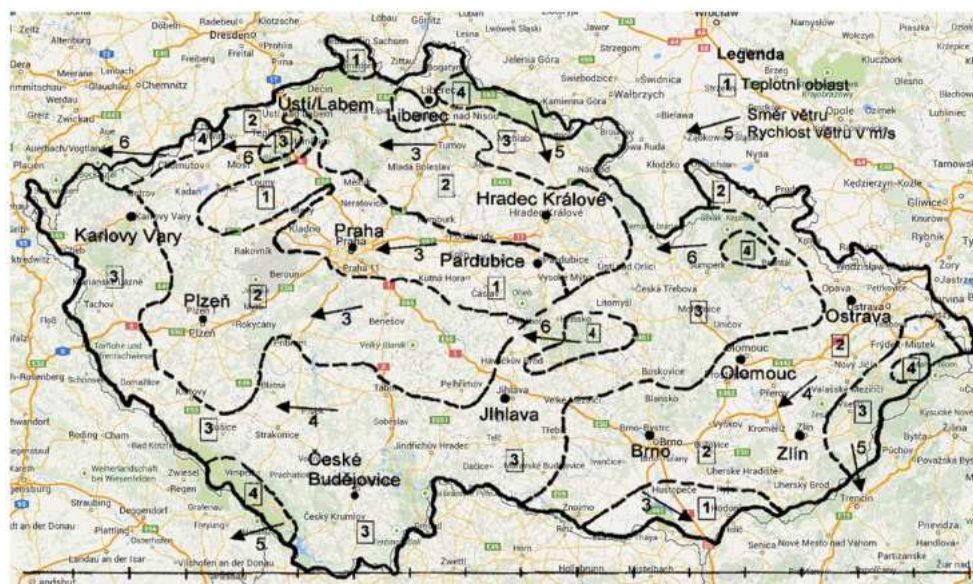
Vlhkostní třída	Budova
1	Opuštěné budovy, sklady suchého zboží
2	Kanceláře, domácnosti s běžným obsazením osobami a větráním
3	Budovy s neznámým obsazením osobami
4	Sportovní haly, kuchyně, jídelny
5	Speciální budovy, např. prádelny, pivovary, plavecké bazény

Pro exteriérové podmínky byla zvolena, dle přílohy H v ČSN 73 0540-3, teplotní oblast v zimním období třídy 2. Program Tepelná technika 1D umožňuje pracovat pouze se stacionárním zadáváním hodnot. Jako návrhová teplota venkovního vzduchu byla proto zvolena hodnota $\theta_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro uvedení konstrukce do extrémních podmínek. Tato hodnota odpovídá městu Brnu o nadmořské výšce 227 m n.m. Nutno podotknout, že dle ČHMÚ se hodnoty pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pohybují každoročně v časovém horizontu pouze kolem 150 hodin. Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu byla stanovena na $\varphi_e = 84\text{ }\%$.

Pro porovnání výsledků vypočítaných na základě okrajových podmínek výše zmíněných norem, jsem do stacionárního výpočtu zahrnul také hodnoty vnějších a vnitřních teplot a relativních vlhkostí naměřenými na jednotlivých experimentálních modelech. Tyto okrajové podmínky jsou specifikovány v subkapitole 6.4. Formulace okrajových podmínek.



Obr. 26. Průměrné měsíční teploty vnějšího vzduchu v různých nadmořských výškách v ČR dle ČHMÚ



Obr. 27. Orientační mapa klimatických oblastí [37]

Do výpočtu šíření tepla byl dále zahrnut odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $R_{si} = 0,10 \text{ [m}^2\text{K.W}^{-1}\text{]}$ a odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $R_{se} = 0,04 \text{ [m}^2\text{K.W}^{-1}\text{]}$. Pro výpočet šíření vlhkosti a rizika růstů plísní je hodnota $R_{si} = 0,25 \text{ [m}^2\text{K.W}^{-1}\text{]}$.

Pro porovnání výsledků průběhu teplot, relativních vlhkostí a množství zkondenzované a odpařené vodní páry dle norem [34], [37] a hodnot z experimentálního měření byly do stacionárního výpočtu

importovány průměrné měsíční teploty a relativní vlhkosti vnějšího a vnitřního vzduchu z těchto naměřených hodnot. Jelikož stacionární výpočet neuvažuje se sluneční radiací, byla do vnějších okrajových podmínek zohledněna tzv. ekvivalentní sluneční teplota. Ta umožňuje efektivně zavést do výpočtů souhrnný vliv teploty vzduchu, slunečního záření, větru a výměny tepla sáláním. Lze ji stanovit ze vztahu:

$$\theta_{e,ekv} = \theta_e + \frac{\alpha_{sr} \cdot I}{h_e} - \frac{q_s}{h_e} \quad (88)$$

kde je:

θ_e	teplota venkovního vzduchu [°C]
α_{sr}	pohltivost slunečního zář. vnějšího povrchu [-]
I	intenzita globálního slunečního záření [W.m ⁻²]
h_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně [W.m ⁻² .K ⁻¹]
q_s	tepelný tok sáláním z konstrukce do atmosféry [W.m ⁻²]

Ekvivalentní sluneční teplota se do výpočtů zavádí jako teplota vnějšího vzduchu působící těsně nad povrchem konstrukce.

5.4.2. Vlastnosti materiálů

Program dokáže na základě vložených okrajových podmínek a materiálů vypočítat a posoudit skladbu z hlediska součinitele prostupu tepla dle [34] a [36]. Každý materiál je definován pěti vstupními parametry:

Tab. 5. Vstupní parametry materiálu

Parametr	Jednotka
Tloušťka (d)	[m]
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Měrná tepelná kapacita (c)	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
Objemová hmotnost (ρ)	[kg.m ⁻³]
Faktor difúzního odporu (μ)	[-]

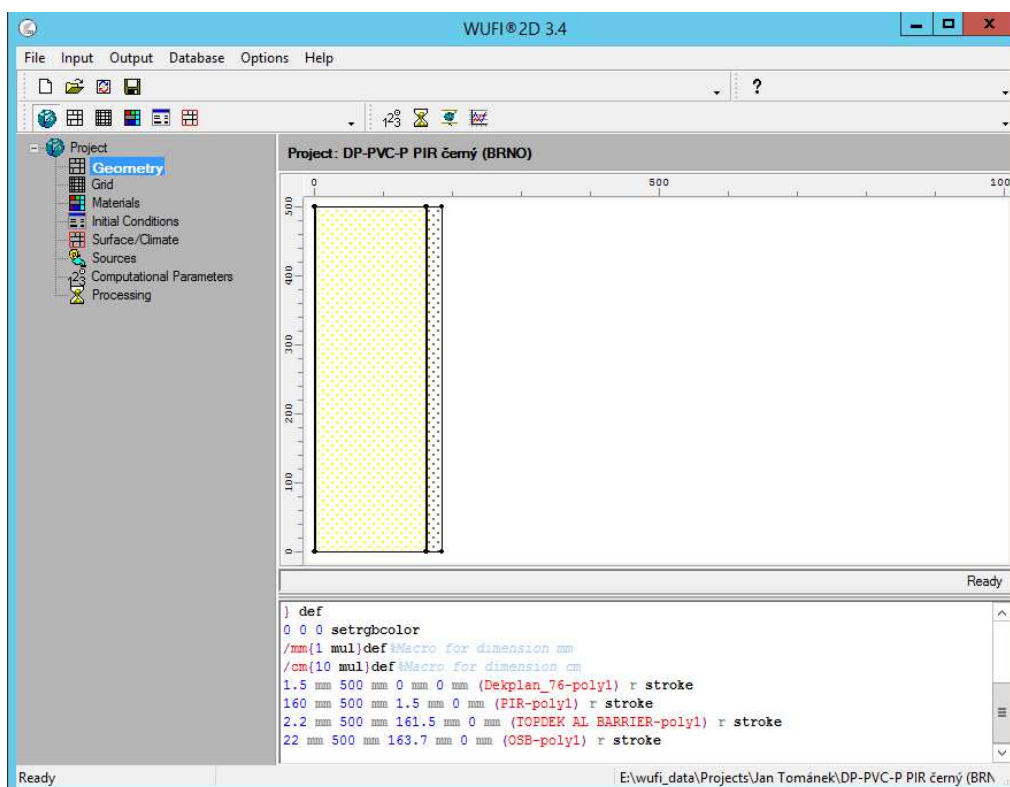
Jelikož jsme pro detailnější posouzení výsledků ze softwaru DEKSOFT používali software pro dynamickou simulaci WUFI 2D, museli jsme sjednotit vstupní údaje konkrétních materiálů. V programu WUFI 2D jsou materiály předem definovány křivkami pro tepelnou vodivost v závislosti na teplotě a vlhkosti, pro faktor difúzního odporu vodních par v závislosti na vlhkosti atd. Vybrali jsme z dané databáze materiály, které svými vlastnostmi nejvíce připomínali (nebo se shodovali) s materiály použité v programu DEKSOFT, popř. dané vlastnosti materiálů upravili dle technických listů výrobců a laboratorních zkoušek.

5.5. Práce se softwarem WUFI 2D

5.5.1. Geometrie modelu

Zadávaní geometrie modelu je poměrně intuitivní a jednoduché. Samotný model musí být složen pouze z jednotlivých polygonů. Nedají se modelovat zkosené hrany, oblouky a další složitější křivky, což je nevýhodou tohoto softwaru. K jednotlivým polygonům jsou poté přiděleny konkrétní materiály.

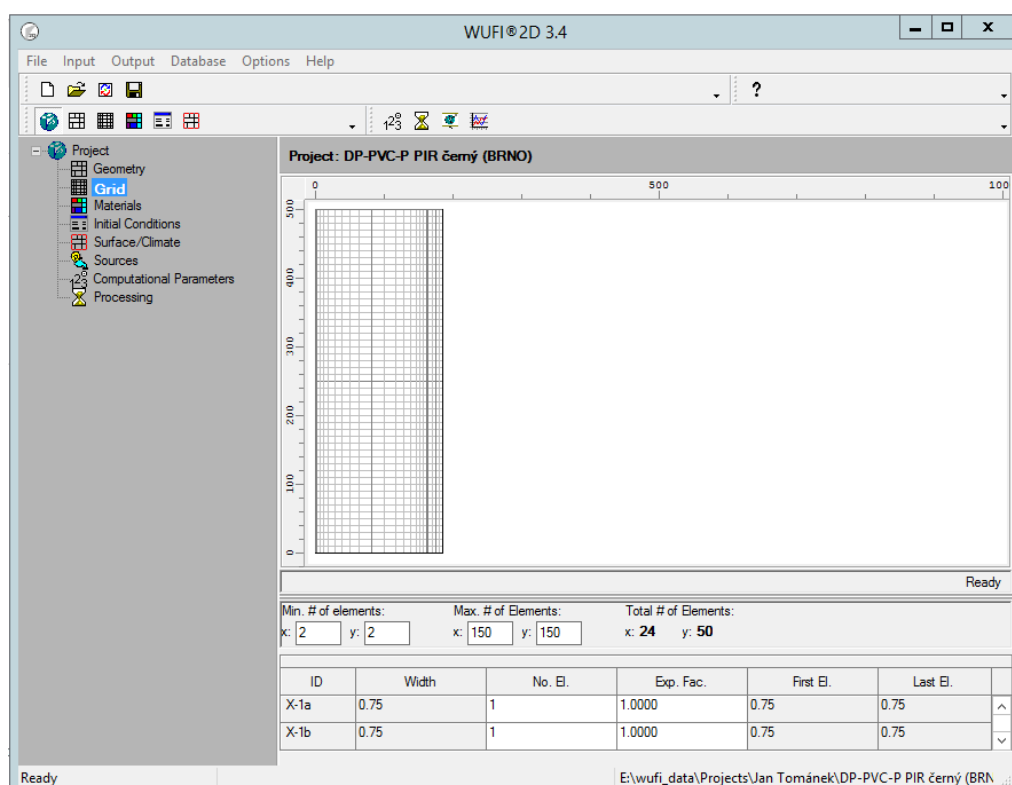
Rozměry našich výpočtových modelů jsou blíže specifikovány v subkapitole 6.3. této diplomové práce.



Obr. 28. Tvorba geometrického modelu v softwaru WUFI 2D

5.5.2. Výpočetní síť

K umožnění numerického zpracování musí být náš model rozdělen pomocí výpočtové sítě. Hustota této výpočtové sítě se volí automaticky i manuálně. Manuálně zadáváme na kolik částí se daný segment výpočtového modelu rozdělí (rovnoměrná výpočtová síť) nebo také pomocí faktoru rozšíření, u kterého se výpočetní síť zhušťuje směrem k pro nás zásadnímu místu nebo rozhraní konstrukce. Výpočtová síť se takto definuje jak ve směru osy x tak ve směru osy y.



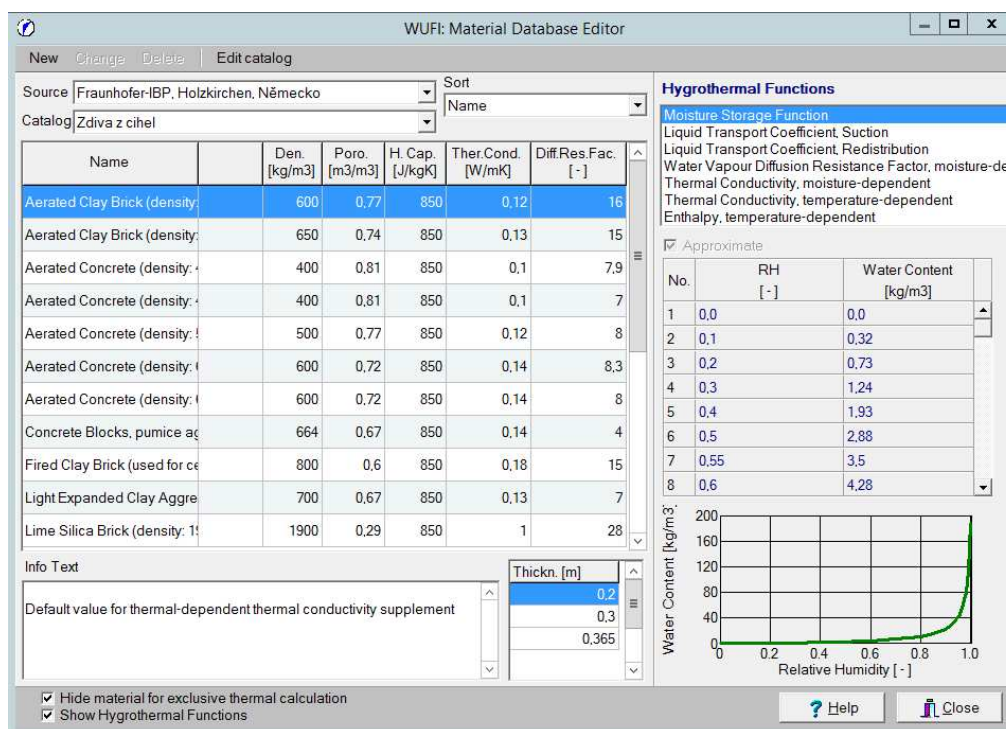
Obr. 29. Tvorba výpočtové sítě v softwaru WUFI 2D

5.5.3. Databáze materiálů

Databáze materiálů v softwaru WUFI 2D je poměrně obsáhlá. Obsahuje cca 600 různých materiálů. Velkou výhodou těchto materiálů je značné množství křivek, závisících na různých vlastnostech materiálů (např. vliv obsahu vody v konstrukci na součinitel tepelné vodivosti apod.), které byly vyzkoumány ve Fraunhofer institutu pro stavební fyziku v německém Holzkirchenu.

Námi vybraný materiál se poté přiřadí k danému polygonu modelu. Nesmíme opomenout definici materiálu ve směru osy x tak i ve směru osy y.

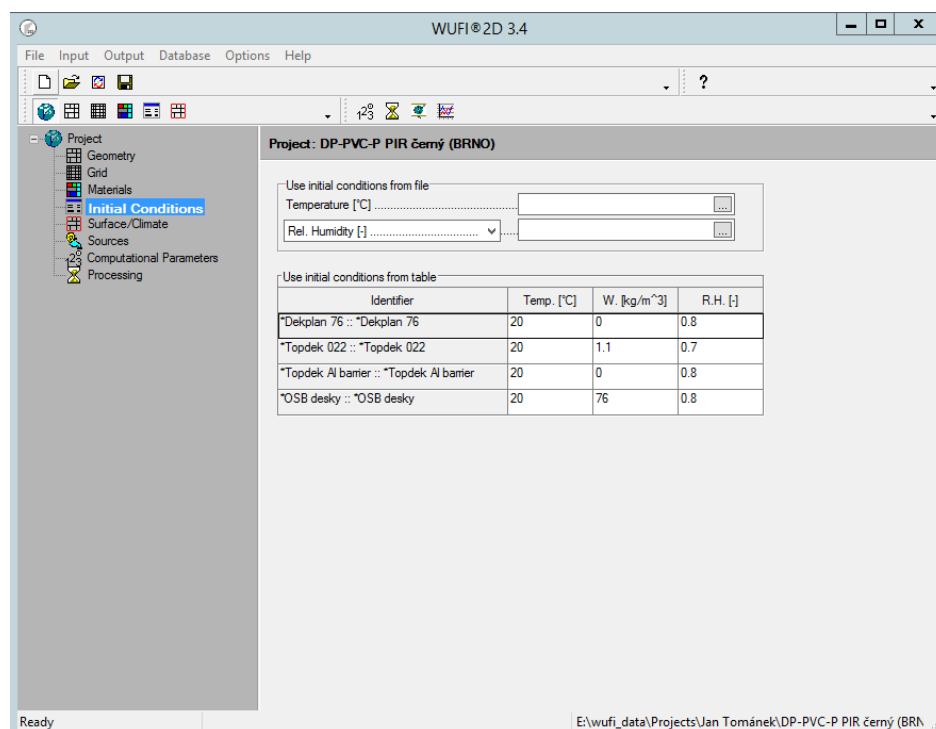
Vlastnosti materiálů použitých na výpočtových modelech jsou blíže specifikovány v příloze této diplomové práce.



Obr. 30. Databáze materiálů v softwaru WUFI 2D

5.5.4. Vstupní okrajové podmínky

Pomocí vstupních okrajových podmínek definujeme s jakou vstupní teplotou a relativní vlhkostí bude dynamická simulace zahájena. Zde je třeba zmínit, že vstupní teplota materiálu není až tak zásadní, jelikož se teplota v poměrně krátkém čase ustálí. Problémem může být vstupní relativní vlhkost materiálu se kterou musíme manipulovat velmi obezřetně. Pro přesnost simulace je nutné znát relativní vlhkost (objemovou vlhkost) materiálu, se kterou je do konstrukce zabudován. Převážně u difúzně uzavřených vrstev se pak doba vysušení konstrukce může prodloužit o řadu let.



Obr. 31. Počáteční okrajové podmínky

5.5.5. Okrajové podmínky

Rozlišujeme 3 typy ohraničení výpočtového modelu: adiabatická hranice, vnitřní povrchová hranice a vnější povrchová hranice. Adiabatická hranice nám definuje, že přenos tepla a vlhkosti nebude přes tuto hranici umožněn. Takovou hranicí může být např. osa symetrie modelu. Software automaticky vypočítává koeficienty přenosu par z koeficientů přenosu tepla, tudíž je nutné rozlišovat vnější a vnitřní hranici modelu.

Definování okrajových podmínek v softwaru WUFI 2D se dá rozdělit do dvou skupin:

- povrchové koeficienty
- klimatické podmínky

5.5.6. Povrchové koeficienty

Mezi důležité koeficienty povrchu patří:

Součinitel přestupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Pokud je povrch stěny teplejší než jeho okolí – vydává teplo. Tento přenos tepla je doprovázen několika transportními mechanismy: vedení tepla vzduchem sousedícím s povrchem, prouděním vzduchu a emisivitou dlouhovlnného záření. Modelování těchto jevů je velmi komplikované a proto jsou dány standardní hodnoty, které při výpočtech běžně používáme. Pro vnější plochy je součinitel přestupu tepla $17 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$ a pro vnitřní plochy $8 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$. Pokud známe charakteristiky větru (směr a rychlost) v průběhu roku, software vypočítá součinitel přestupu tepla v závislosti na těchto charakteristikách.

Absorpce krátkovlnného záření [-]

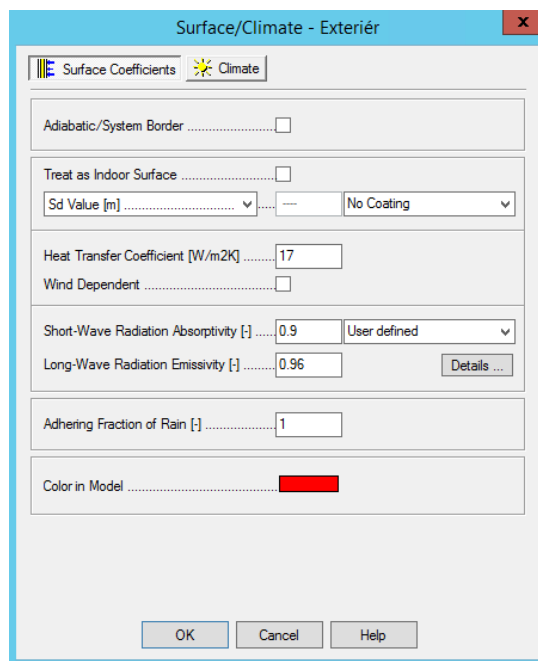
Tepelná výměna dlouhovlnného záření mezi stavebním prvkem a okolím probíhá v infračerveném spektru. Spektrum slunečního záření ve viditelném spektru nejvíce obsahuje záření o krátkých vlnách. Absorpce krátkovlnného záření indikuje zlomek celkového slunečního záření dopadeného na povrch. Výrazně ovlivňuje průběh teplot na povrchu konstrukce v závislosti na intenzitě slunečního záření.

Vyzařování dlouhovlnného záření [-]

Během dne, kdy je povrch ohříván slunečním zářením, vydává více tepelného záření než přijímá z chladnějšího vzduchu a tudíž je vyváženost dlouhovlnného záření negativní. Nicméně, atmosféra je méně účinný tepelný emitör než většina pevných těles při stejné teplotě. Proto i během noci, kdy povrch a okolní vzduch mají srovnatelné teploty, vyzařuje povrch více tepelného záření k obloze, než od oblohy přijme.

Faktor absorpce hnaného deště [-]

Tento faktor ber v úvahu, že část dešťových vod, které zasáhnou povrch konstrukce, se při nárazu odrazí a tudíž nejsou k dispozici ke kapilární absorpci. U svislých zdí je stanovena adekvátní hodnota 0,7. U konstrukcí chráněných před deštěm se tato hodnota rovná 0. V případě plochých střech pak tato hodnota nabývá 1.

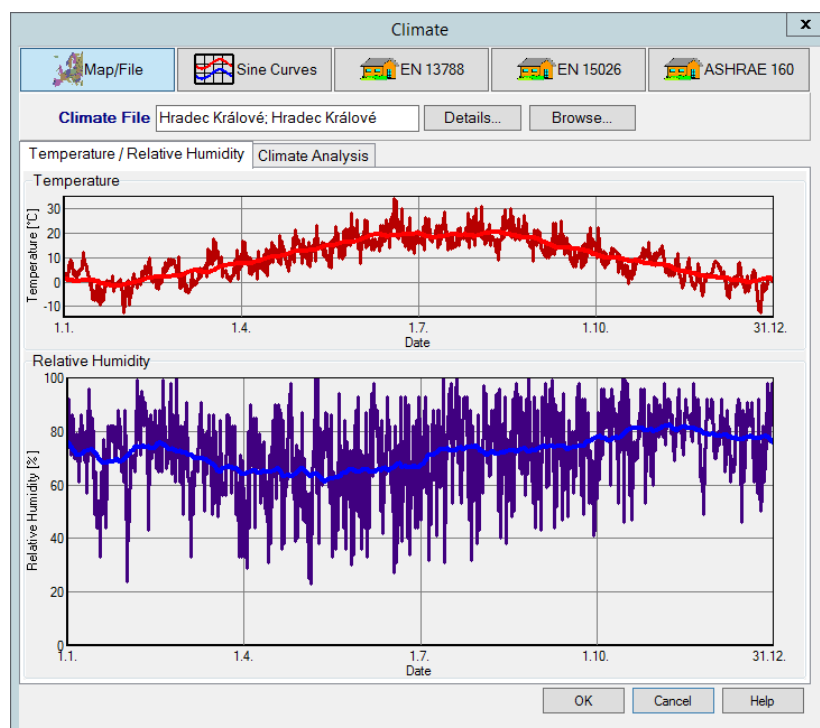


Obr. 32. Zadávání povrchových koeficientů

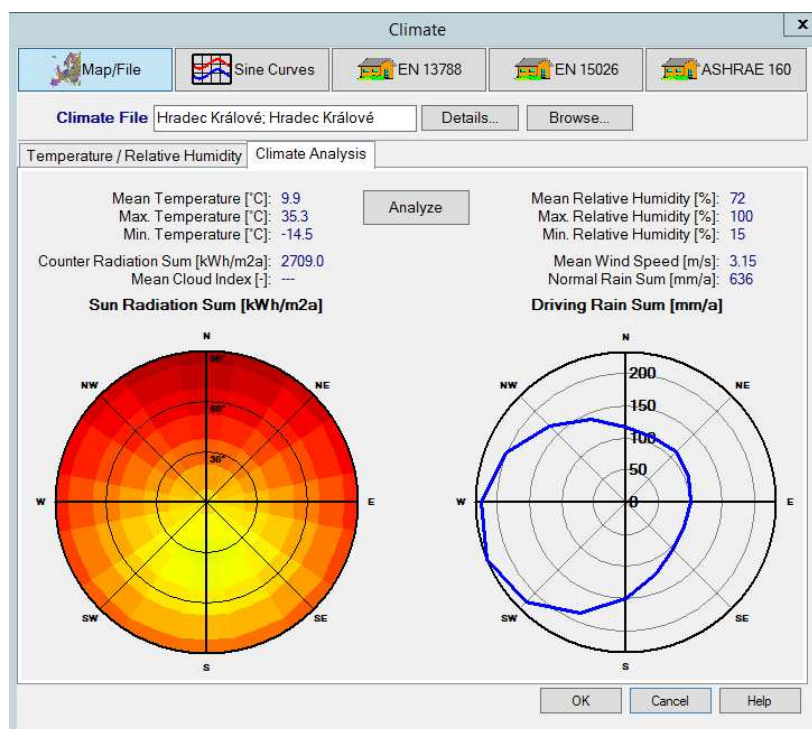
5.5.7. Klimatické podmínky

Pomocí těchto dat přiřazujeme danému povrchu orientaci, sklon, expozici povrchu a klimatické podmínky, ke kterým je povrch vystaven. Tyto okrajové podmínky mohou být vloženy jako hodinové data z vlastního klimatického souboru nebo jako schematické sinusové křivky nebo také pomocí hodnot z norem EN 13788, EN 15026 či ASHRAE 160P. V je možné vybrat klimatické podmínky dle mapy a měst ve kterých jsou tyto data naměřeny. Software obsahuje databázi cca 200 měst po celém světě, ze kterých můžeme klimatické údaje čerpat. V ČR jsou tyto klimatické údaje definovány pouze pro Hradec Králové. Referenční klimatický rok pro Hradec Králové byl poskytnut Ing. Petrem Slaninou Ph.D. na základě dat z Českého hydrometeorologického ústavu. Datový soubor byl složen z následujících měsíců: leden 91, únor 97, březen 04, duben 04, květen 99, červen 02, červenec 01, srpen 01, září 00, říjen 99, listopad 04 a prosinec 03 podle normy ČSN EN ISO 15927-4. Chybějící hodinová data srážek pro leden a únor byla vytvořena Ing. Slaninou Ph.D.

na základě naměřených denních průměrů srážek, slunečního záření a relativní vlhkosti venkovního vzduchu.



Obr. 33. Průběh vnější teploty a relativní vlhkosti pro Hradec Králové



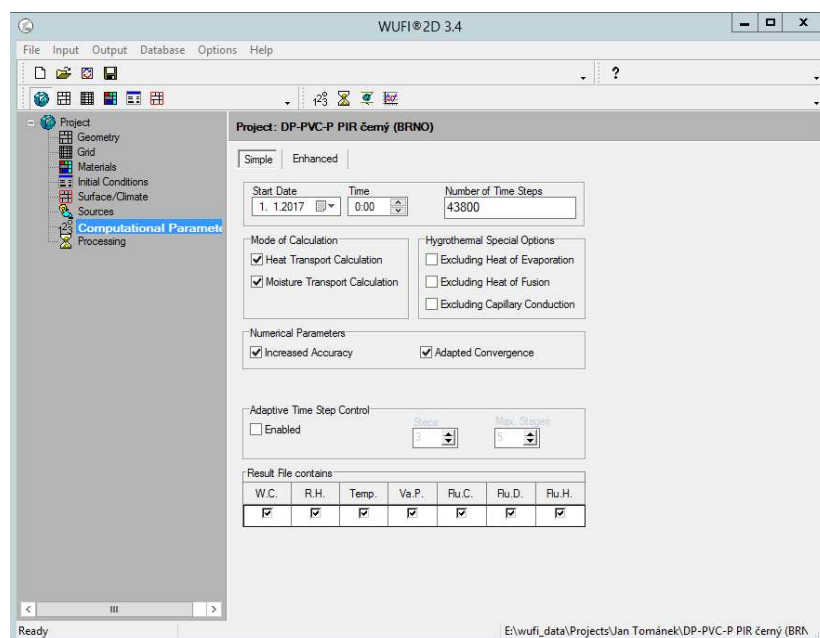
Obr. 34. Klimatická data pro Hradec Králové

Pro počáteční model byla zvolena klimatická data z Hradce Králové. Modely s těmito klimatickými daty jsem analyzoval v závislosti na změnu materiálových charakteristik, počátečních okrajových podmínek a koeficientů povrchů. Po analýze takto získaných dat byla původní klimatická data z Hradce Králové nahrazena daty z experimentální budovy firmy Atelier DEK. Následně získané data byly porovnávány s výsledky naměřenými z experimentálních modelů.

5.5.8. Výpočetní parametry

Možnosti, které jsou k dispozici, umožňují řídit způsob výpočtu dynamické simulace. Jedná se hlavně o datum zahájení výpočtu, počet kroků výpočtu (1 krok = 1 hodina), specifické hygrotermální nastavení (s a bez vlivu kapilárního vedení, transportu vlhkosti, odpařování latentním teplem, fúze latentního tepla). Dalšími dostupnými vlastnostmi, které chceme v simulaci použít jsou: obsah vody, relativní vlhkost, teplota, tlak

vodní páry, kapilární vlhkostní tok, difúze vodních par a tepelný tok. Všechny tyto parametry mají zásadní vliv na dobu výpočtu.



Obr. 35. Výpočetní parametry dynamické simulace

6. TEORETICKÁ TEPELNĚ VLHKOSTNÍ ANALÝZA

6.1. Zkoumané skladby plochých střech

Pro následující analýzu bylo v rámci této diplomové práce vybráno několik skladeb, na kterých bude zkoumán vliv různých okrajových podmínek a materiálových charakteristik na tepelně vlhkostní chování daných skladeb. Pro lepší orientaci jsem následné skladby rozdělil do dvou skupin. První skupinou jsou vnější exponované ploché střechy, které jsou vystaveny vnějším klimatickým vlivům jako jsou například sluneční radiace, vliv deště, sálání konstrukce k noční obloze apod. Druhou skupinou jsou ploché střechy chráněné prostorem před vnějšími vlivy, které výše zmíněným podmínkám vystaveny nejsou. U těchto střech působí pouze změny teplot a relativních vlhkostí vně a uvnitř modelované konstrukce.

6.1.1. Vnější exponované ploché střechy

Skladba těchto plochých střech je téměř stejná. Jediným rozdílem je hydroizolační vrstva. Nosná konstrukce je zrealizovaná pomocí OSB desek o tloušťce 22 mm (OSB/3). Na těchto deskách je aplikovaná parotěsnicí vrstva ze samolepícího asfaltového pásu z SBS modifikovaného asfaltu s nosnou vložkou z hliníkové fólie kaširované polyesterovou rohoží (TOPDEK Al BARRIER). Jako tepelný izolant jsou zde zvoleny desky na bázi polyisokyanurátu o tloušťce 160 mm (TOPDEK 022 PIR). Na tuto tepelně izolační vrstvu jsou dále kladeny následující hydroizolace:

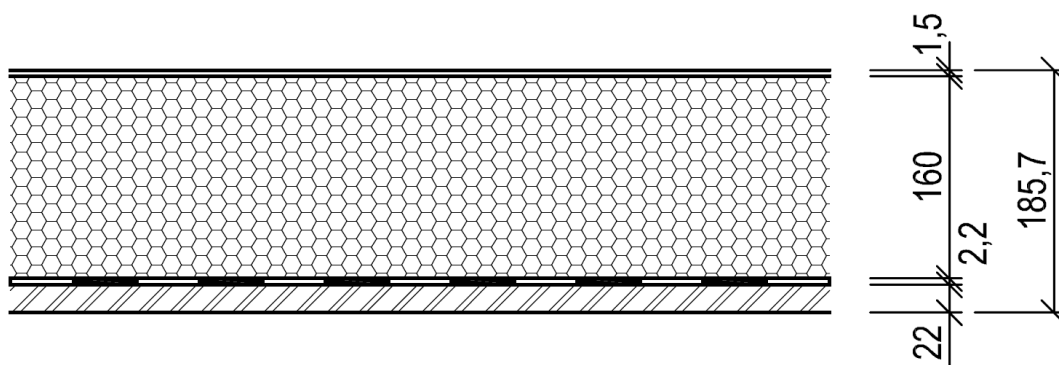
1. ALKORBRIGHT 35276 – vícevrstvá střešní fólie vyrobená z měkčeného PVC. Fólie je vyztužená polyesterovou mřížkou, má bílou barvu a na horním povrchu je opatřena speciální úpravou. Kombinace těchto vlastností dodává fólii vysokou odrazivost

slunečních paprsků. Tuto skladbu budu dále označovat jako **skladba S01**.

2. DEKPLAN 76 – fólie z měkčeného polyvinylchloridu s výztužnou polyesterovou vložkou. Fólie má šedou barvu. Tuto skladbu budu dále označovat jako **skladba S02**.

3. DEKPLAN 76 + asfaltová – fólie viz. 2. opatřena asfaltovým nátěrem černé barvy. Tuto skladbu budu dále označovat jako **skladba S03**.

Zásadní analýza těchto střech spočívá ve vlivu barvy vnějšího povrchu (rozdílná absorpce a emisivita povrchu) na průběh teplot a relativních vlhkostí uvnitř konstrukce.



Obr. 36. Schéma skladeb S01, S02 a S03

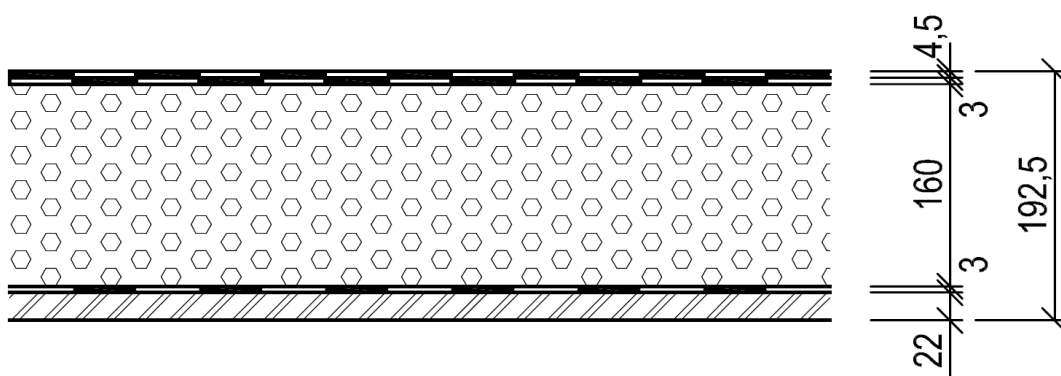
6.1.2. Ploché střechy chráněné prostorem před vnějšími vlivy

Skladba těchto plochých střech je opět téměř stejná. Jediným rozdílem je hydroizolační vrstva. Nosná konstrukce je zrealizovaná pomocí OSB desek o tloušťce 22 mm (OSB/3). Na těchto deskách je aplikovaná parotěsnicí vrstva ze samolepícího asfaltového pásu z SBS modifikovaného asfaltu s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny, na horním povrchu opatřen spalitelnou PE folií (GLASTEK 30 STICKER ULTRA). Jako tepelný izolant jsou zde zvoleny desky ze stabilizovaného expandovaného

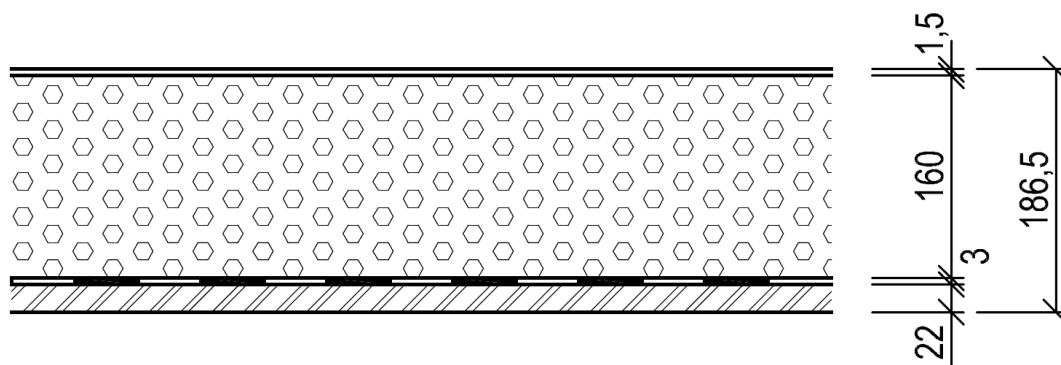
polystyrenu o tloušťce 160 mm (EPS 100). Na tuto tepelně izolační vrstvu jsou dále kladeny následující hydroizolace:

1. GLASTEK 30 STICKER ULTRA + ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR - samolepící asfaltový pás z SBS modifikovaného asfaltu s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny, na horním povrchu opatřen spalitelnou PE folií + asfaltový pás z SBS modifikovaného asfaltu s nosnou vložkou z polyesterové rohože v podélném směru vyztužena skleněnými vlákny. Na horním povrchu je pás opatřen břidličným posypem, na spodním separační PE fólií. Tuto skladbu budu dále označovat jako **skladba S04**.
2. DEKPLAN 76 – fólie z měkčeného polyvinylchloridu s výztužnou polyesterovou vložkou. Tuto skladbu budu dále označovat jako **skladba S05**.

Zásadní analýza těchto střech spočívá ve vlivu různých faktorů difúzního odporu hydroizolací na průběh teplot a relativních vlhkostí uvnitř konstrukce. Navíc zde není zahrnut vliv sluneční radiace, vliv deště a vliv sálání konstrukce k noční obloze.



Obr. 37. Schéma skladby S04



Obr. 38. Schéma skladby S05

Všechny skladby a vlastnosti použitých materiálů jsou blíže specifikovány v přílohách A a B této diplomové práce.

6.2. Formulace okrajových podmínek

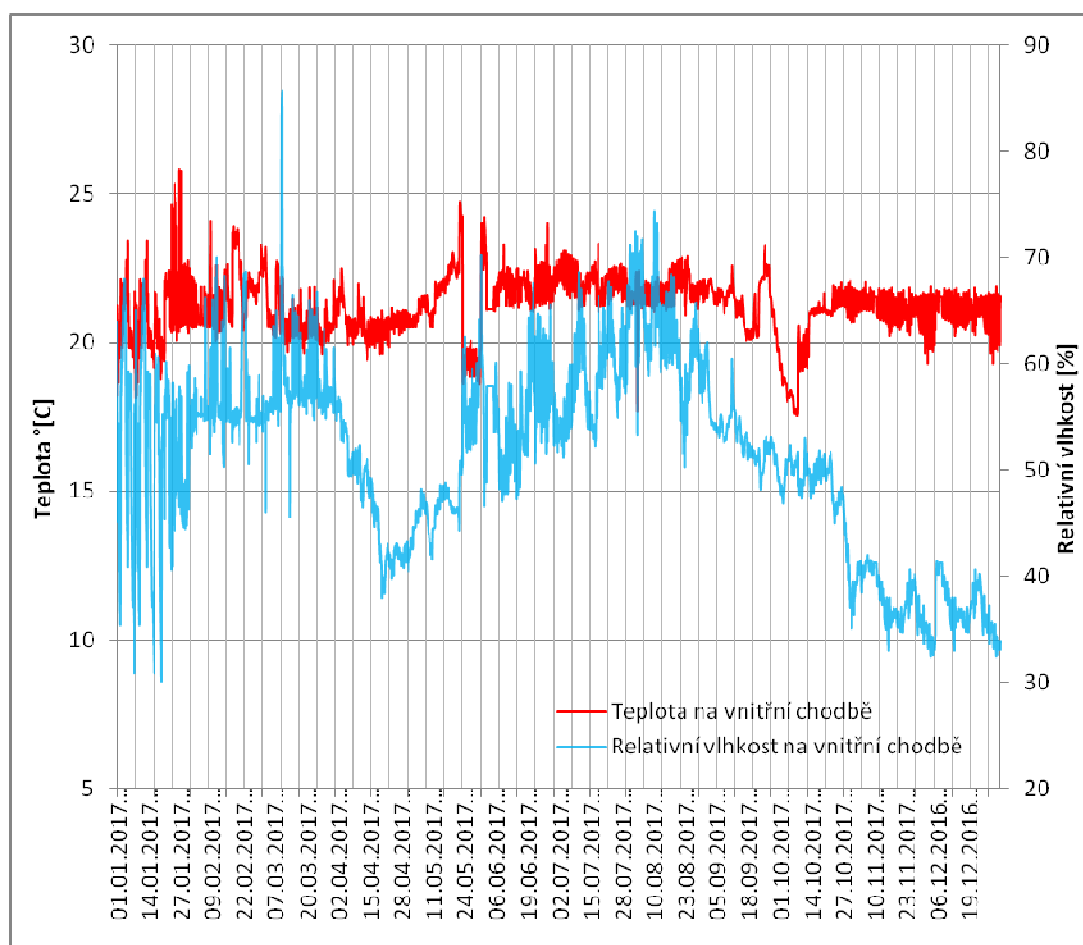
Okrajové podmínky pro výpočet stacionárních simulací byly stanoveny na základě norem. Dále byly do výpočtů v softwaru DEKSOFT a WUFI 2D, pro korektní a srovnatelné výsledky, importovány okrajové podmínky (stavy vnitřního a vnějšího vzduchu) získané měřením na experimentální budově. Jelikož měření probíhalo ve dvou rozdílných prostředích – vnější exponované ploché střechy a ploché střechy chráněné prostorem před vnějšími vlivy (viz předchozí kapitola), jsou následující hodinové data rozděleny takto:

- vnitřní prostředí
- vnější prostředí
- prostředí pod střechou
- exteriér

Dalšími důležitými hodnotami použitými v dynamických simulacích je globální sluneční záření. To je zobrazeno na Obr. 43.

6.2.1. Průběh teplot a relativních vlhkostí ve vnitřním prostředí

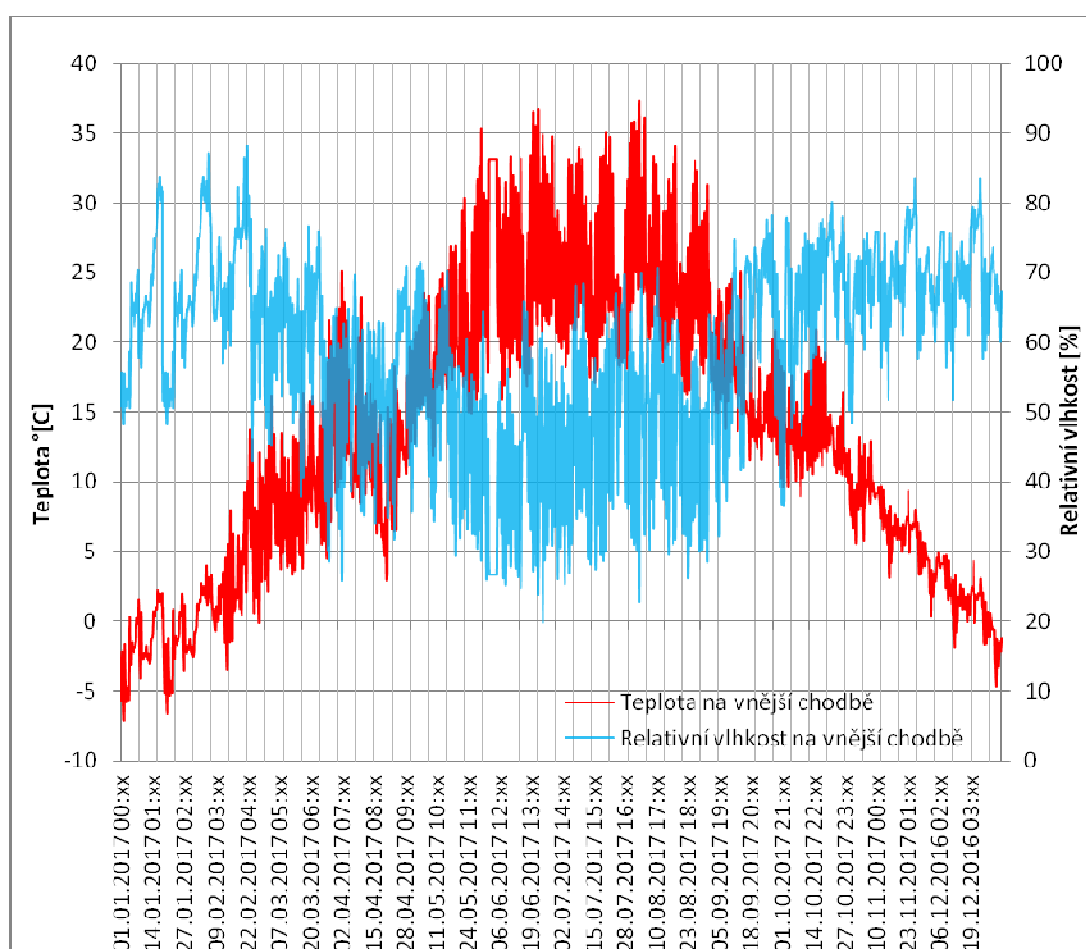
Hodnoty naměřené ve vnitřní prostředí jsou do výpočtu vloženy jako interiérové podmínky pro výpočet plochých střech chráněné před vnějšími vlivy. Tyto průběhy teplot a relativních vlhkostí jsou zobrazeny v následujícím obrázku.



Obr. 39. Průběh teplot a relativních vlhkostí ve vnitřním prostředí

6.2.2. Průběh teplot a relativních vlhkostí ve vnější m prostředí

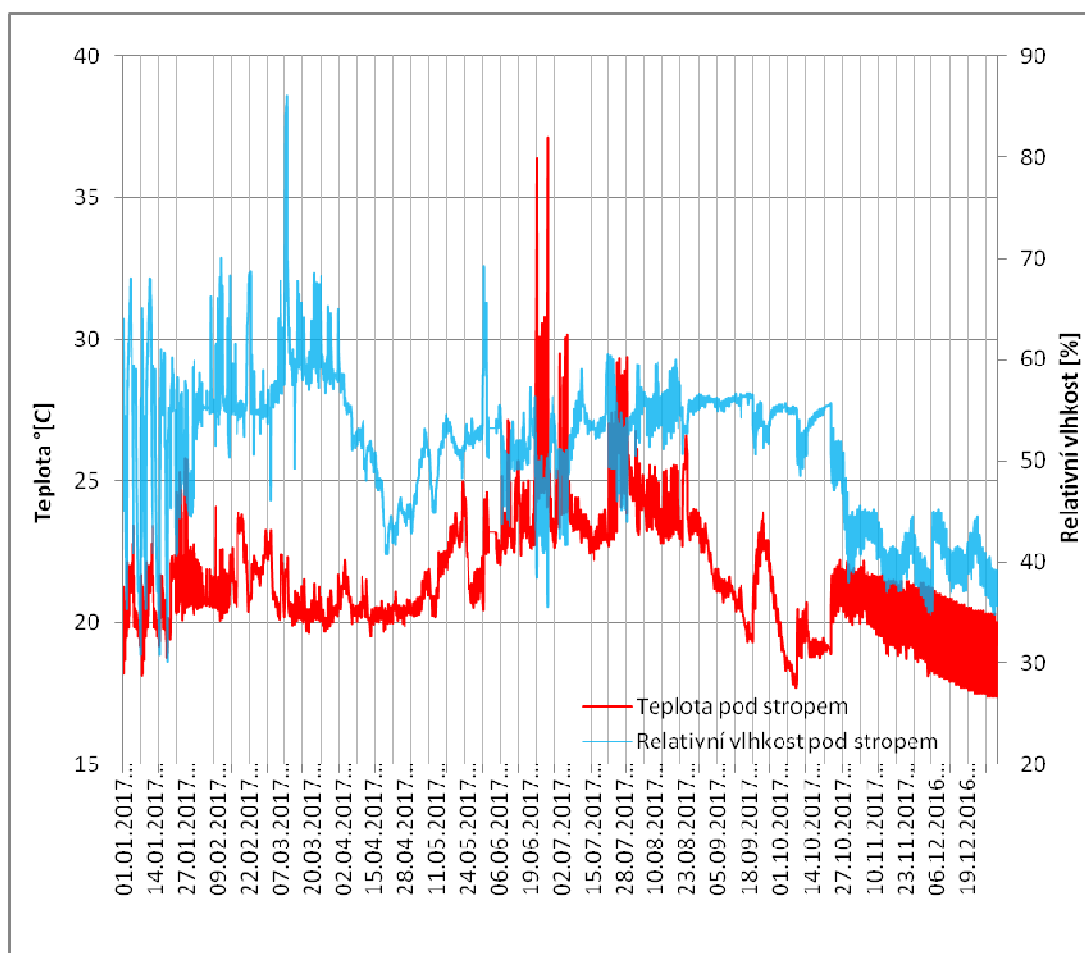
Hodnoty naměřené ve vnějším prostředí jsou do výpočtu vloženy jako exteriérové podmínky pro výpočet vnitřních plochých střeš chráněné před vnějšími vlivy. Tyto průběhy teplot a relativních vlhkostí jsou zobrazeny v následujícím obrázku.



Obr. 40. Průběh teplot a relativních vlhkostí ve vnějším prostředí

6.2.3. Průběh teplot a relativních vlhkostí v prostředí pod střechou

Tyto hodnoty jsou ve výpočtu zohledněny jako interiérové podmínky ve výpočtu vnějších exponovaných plochých střech. Tyto průběhy teplot a relativních vlhkostí jsou zobrazeny v následujícím obrázku.

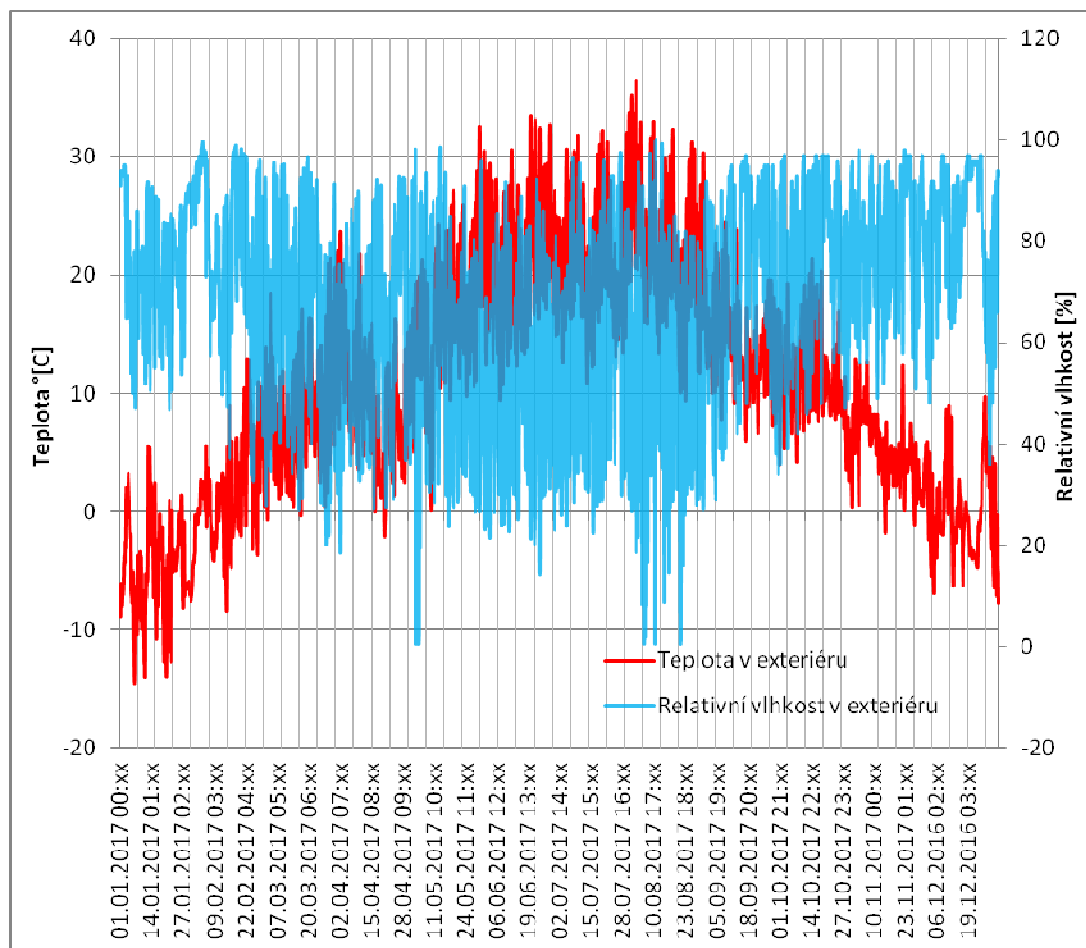


Obr. 41. Průběh teplot a relativních vlhkostí v prostředí pod střechou

6.2.4. Průběh teplot a relativních vlhkostí v exteriéru

Tyto hodnoty jsou ve výpočtu zohledněny jako exteriérové podmínky ve výpočtu vnějších exponovaných plochých střech. Tyto

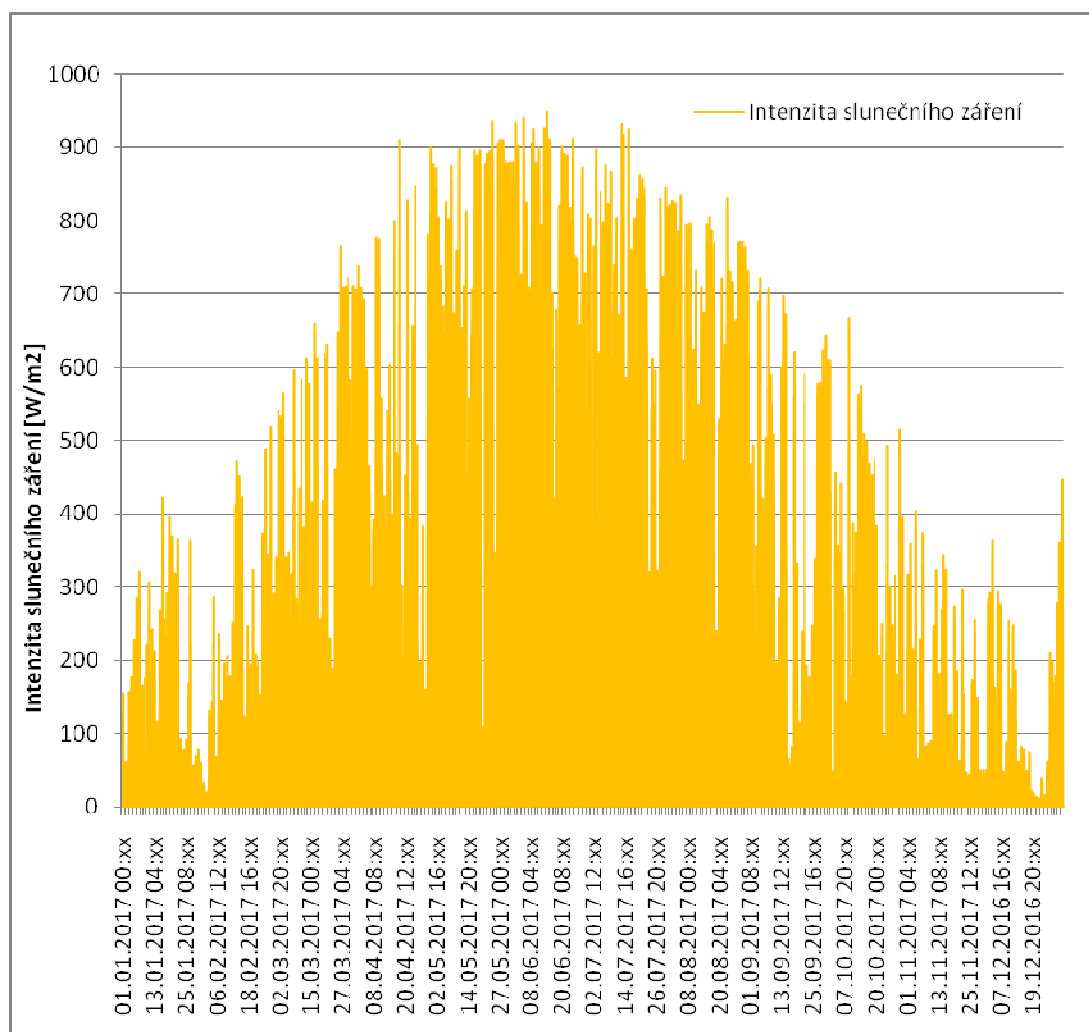
průběhy teplot a relativních vlhkostí jsou zobrazeny v následujícím obrázku.



Obr. 42. Průběh teplot a relativních vlhkostí v exteriéru

6.2.5. Globální sluneční záření

Pro korektní analýzu vlivu dopadu slunečního záření na povrch plochých střech o různých spektrálních vlastnostech bylo nutno do výpočtu zahrnout globální sluneční záření v místě experimentálních modelů. Hodnoty globálního slunečního záření jsou zobrazeny v následujícím obrázku.



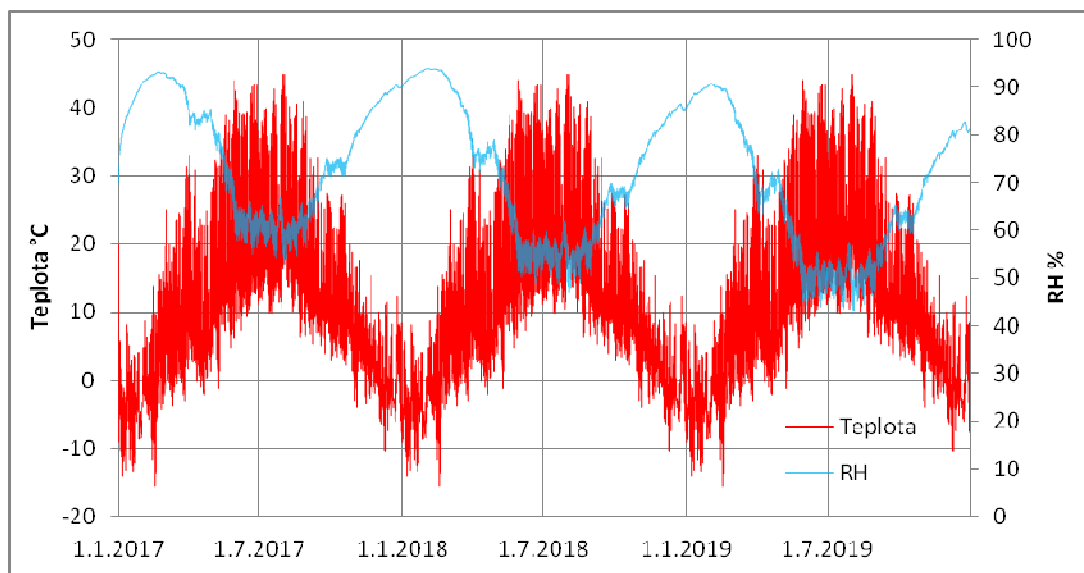
Obr. 43. *Intenzita slunečního záření v místě experimentálního měření*

Měření klimatických dat probíhalo od únoru roku 2017. Proto je nutné zmínit, že chybějící klimatická data byly doplněny na základě měřených hodnot z Meteorologické stanice VUT Brno [39].

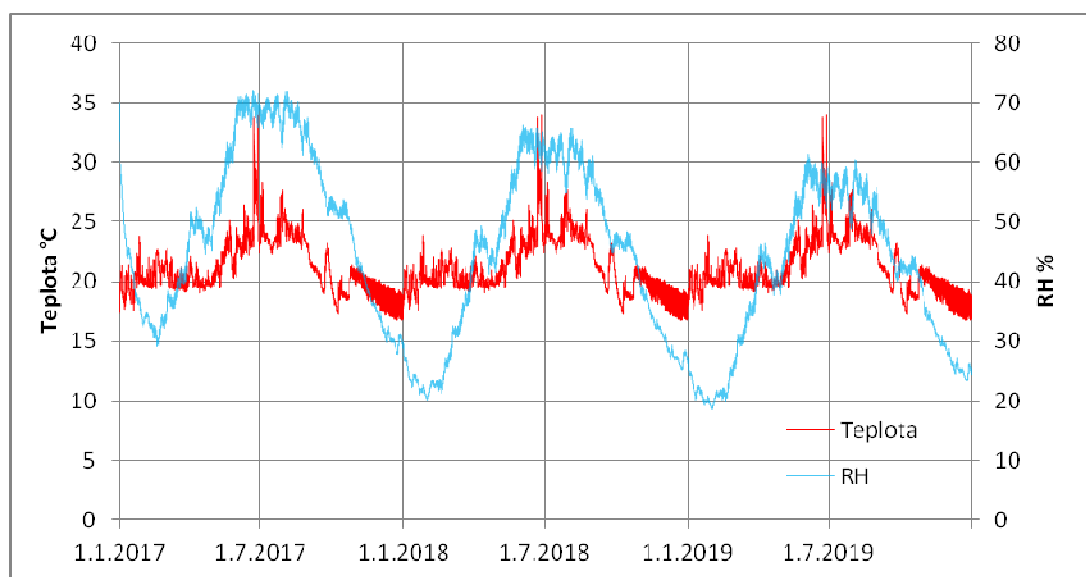
6.3. Analýza výsledků dynamických simulací u vnějších exponovaných plochých střech

Dynamickými výpočty byl sledován průběh teplot, relativních vlhkostí a množství vlhkosti v jednotlivých skladbách plochých střech. Konkrétně jsem se zaměřil na styk parozábrany a tepelně izolačního materiálu a styk tepelně izolačního materiálu s hydroizolací. Jak jsem již dříve zmínil, je nezbytné definovat vstupní okrajové podmínky materiálu. Pro nás je zásadní vstupní relativní vlhkost tepelně izolačního materiálu. V tomto případě se jedná o desky na bázi polyisokyanurátu, u kterého jsem volil počáteční relativní vlhkost 70 %, což dle databáze softwaru WUFI odpovídá objemové hmotnosti vlhkosti cca $1,1 \text{ kg.m}^{-3}$. Počátek simulace pro všechny skladby byl zvolen den 1.1. 2017 v 0:00 hod. Doba simulace byla prováděna pro období 3 let, což odpovídá 26 280 krokům (hodinám). Vlastnosti všech materiálů jsou specifikovány v příloze A a B této diplomové práce.

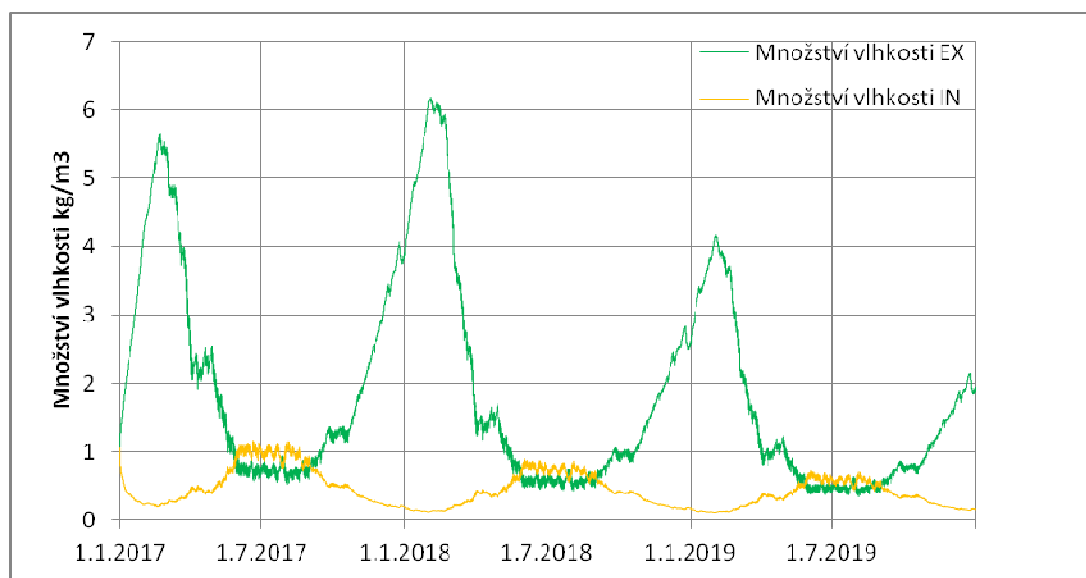
6.3.1. Analýza skladby S01



Obr. 44. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi PIR a HI v S01



Obr. 45. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi parozábranou a PIR v S01



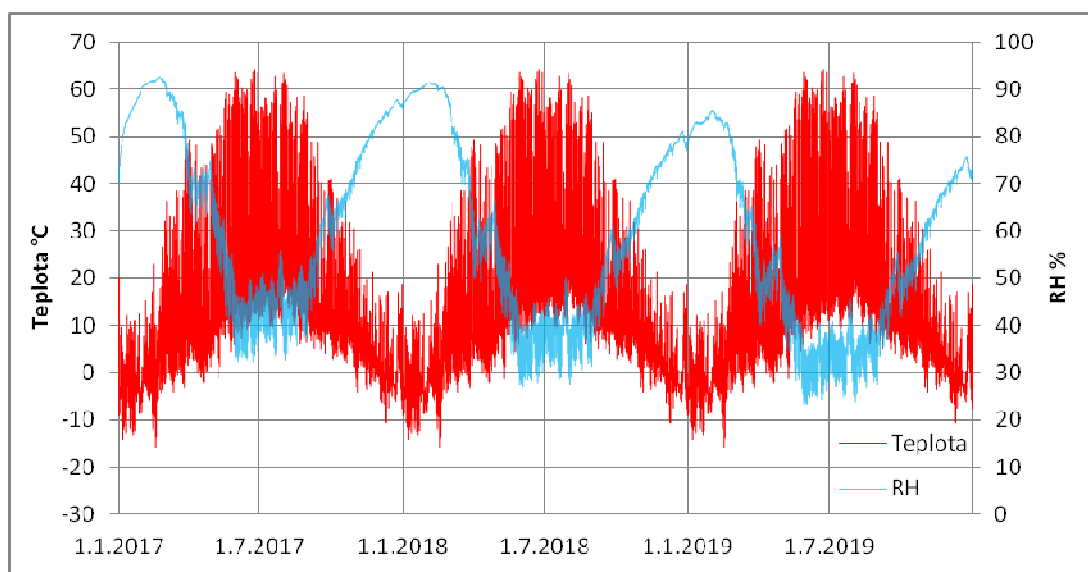
Obr. 46. Množství vlhkosti v horní a spodní vrstvě PIR v S01

Dílčí závěr vyplývající z obr. 44, 45 a 46

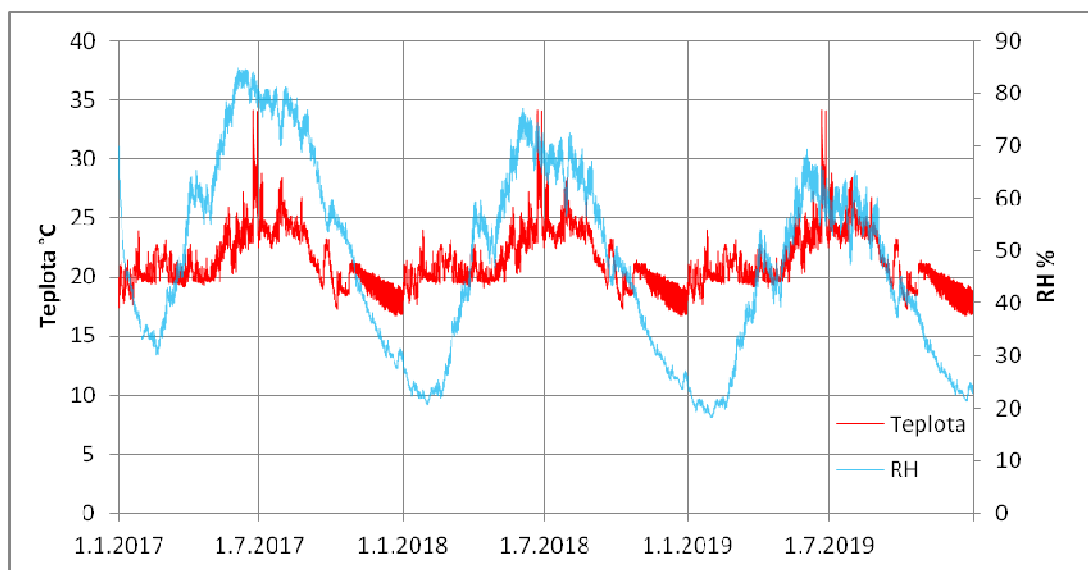
V průběhu roku se teplota mezi tepelnou izolací a hydroizolací pohybuje od -14,8 °C až 44,9 °C. Tyto extrémy teplot jsou hodně ovlivněny spektrálními vlastnostmi použitých materiálů. V průběhu let dochází ke snižování relativní vlhkosti uvnitř konstrukce. Na Obr. 46 lze vidět, že dochází ke snižování množství vlhkosti v tepelně izolační vrstvě tzn. je zde kladná bilance naakumulované vlhkosti. V průběhu zimních

měsíců lze vidět navyšování množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu a navyšování množství vlhkosti v letních měsících v dolní vrstvě tepelného izolantu. To odpovídá rozdílnému směru hmotnostnímu toku vlhkosti v letních a zimních měsících. Jde také vidět, že naakumulované množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu plně vyschne během letních měsíců. Maximální naakumulované množství v horní vrstvě tepelného izolantu je cca $6,1 \text{ kg.m}^{-3}$, to odpovídá cca 1 kg.m^{-2} nebo hmotnostnímu množství vlhkosti 19 %. Při tomto množství vlhkosti dojde ke zhoršení součinitele tepelné vodivosti cca o $0,002 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, což má vliv na tepelně technické parametry této skladby.

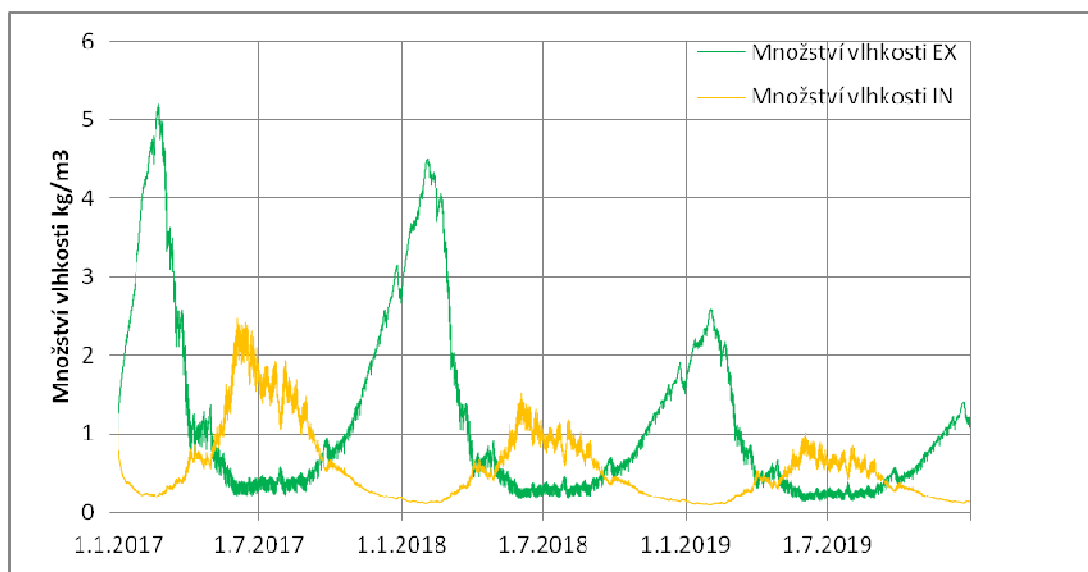
6.3.2. Analýza skladby S02



Obr. 47. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi PIR a HI v S02



Obr. 48. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi parozábranou a PIR v S02



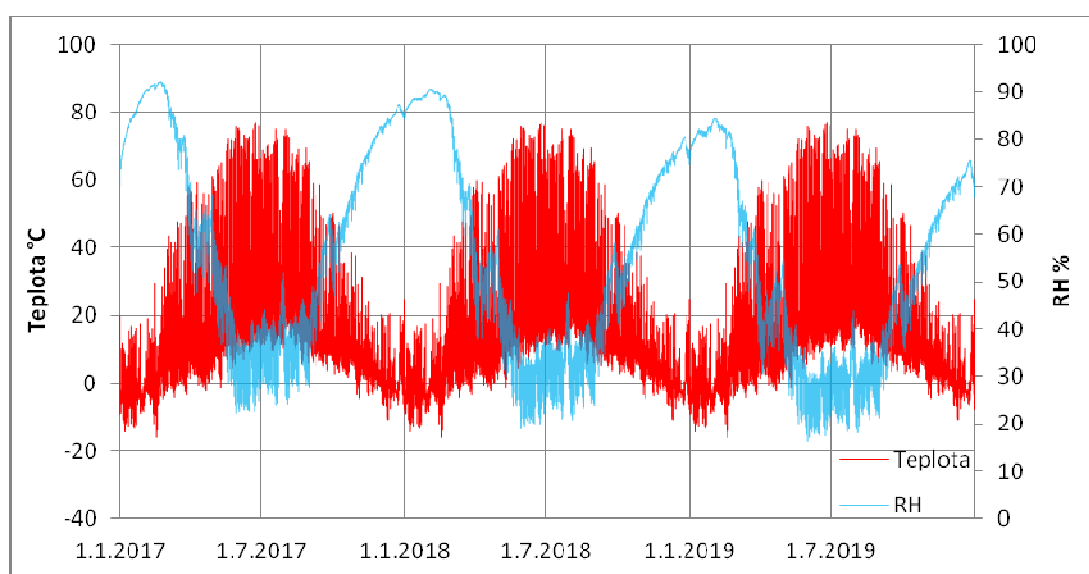
Obr. 49. Množství vlhkosti v horní a spodní vrstvě PIR v S02

Dílčí závěr vyplývající z obr. 47, 48 a 49

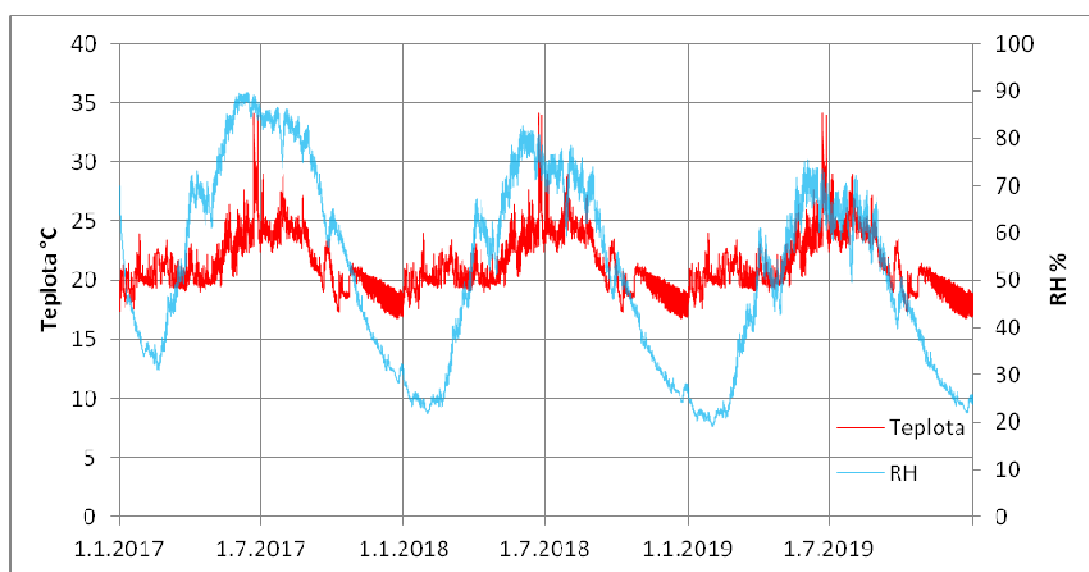
Stejně jako v předchozí skladbě platí kladná bilance naakumulované vlhkosti. V průběhu roku se teplota mezi tepelnou izolací a hydroizolací pohybuje od -15,6 °C až 63,9 °C. Rozdílný směr hmotnostnímu toku vlhkosti v letních a zimních měsících je v této skladbě patrnější. Maximální naakumulované množství v horní vrstvě tepelného izolantu je cca 5,1

kg.m^{-3} , to odpovídá cca $0,8 \text{ kg.m}^{-2}$ nebo hmotnostnímu množství vlhkosti 16 %. Při tomto množství vlhkosti dojde ke zhoršení součinitele tepelné vodivosti cca o $0,002 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$, což má vliv na tepelné technické parametry této skladby. Nicméně v průběhu dalších let se naakumulované množství vlhkosti zásadně zmenšuje, tudíž by se zhoršení těchto parametrů mohlo zanedbat.

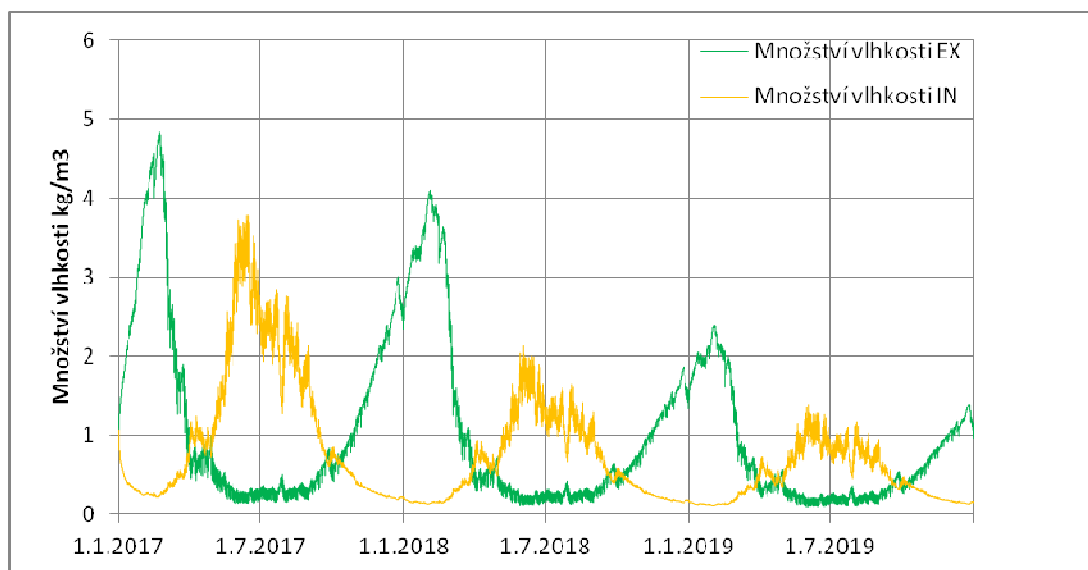
6.3.3. Analýza skladby S03



Obr. 50. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi PIR a HI v S03



Obr. 51. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi parozábranou a PIR v S03



Obr. 52. Množství vlhkosti v horní a spodní vrstvě PIR v S03

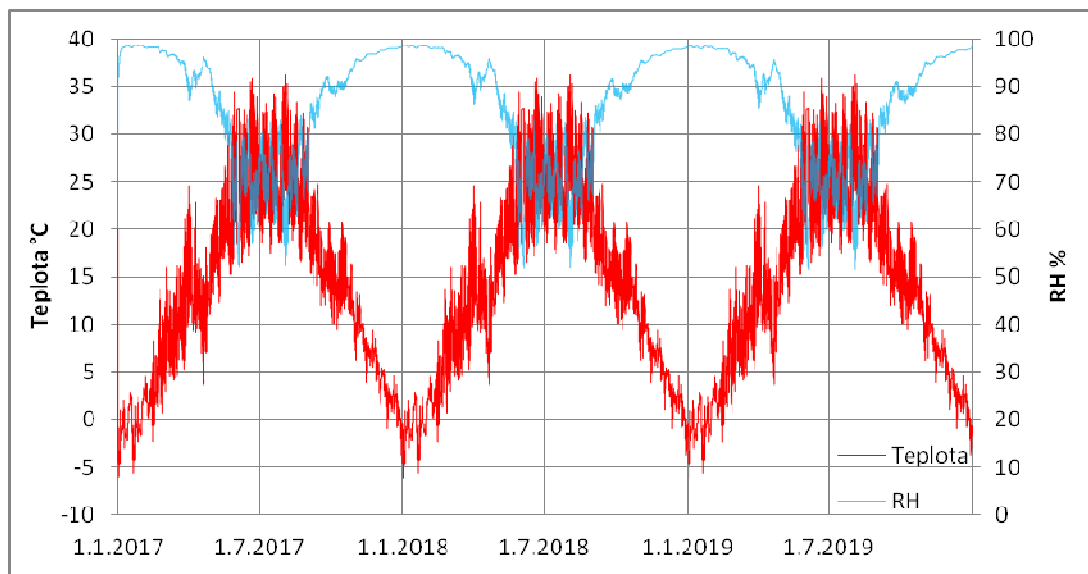
Dílčí závěr vyplývající z obr. 50, 51 a 52

Stejně jako v předchozích skladbách platí kladná bilance naakumulované vlhkosti. Průběh relativních vlhkostí v zimních obdobích je v této skladbě největší. V průběhu roku se teplota mezi tepelnou izolací a hydroizolací pohybuje od $-15,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $76,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozdílný směr hmotnostnímu toku vlhkosti v letních a zimních měsících je v této skladbě největší. Maximální naakumulované množství v horní vrstvě tepelného izolantu je cca $4,8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, to odpovídá cca $0,77\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ nebo hmotnostnímu množství vlhkosti 15 %. Při tomto množství vlhkosti dojde ke zhoršení součinitele tepelné vodivosti cca o $0,002\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, což má vliv na tepelně technické parametry této skladby. Nicméně v průběhu dalších let se naakumulované množství vlhkosti zásadně zmenšuje, tudíž by se zhoršení těchto parametrů mohlo zanedbat.

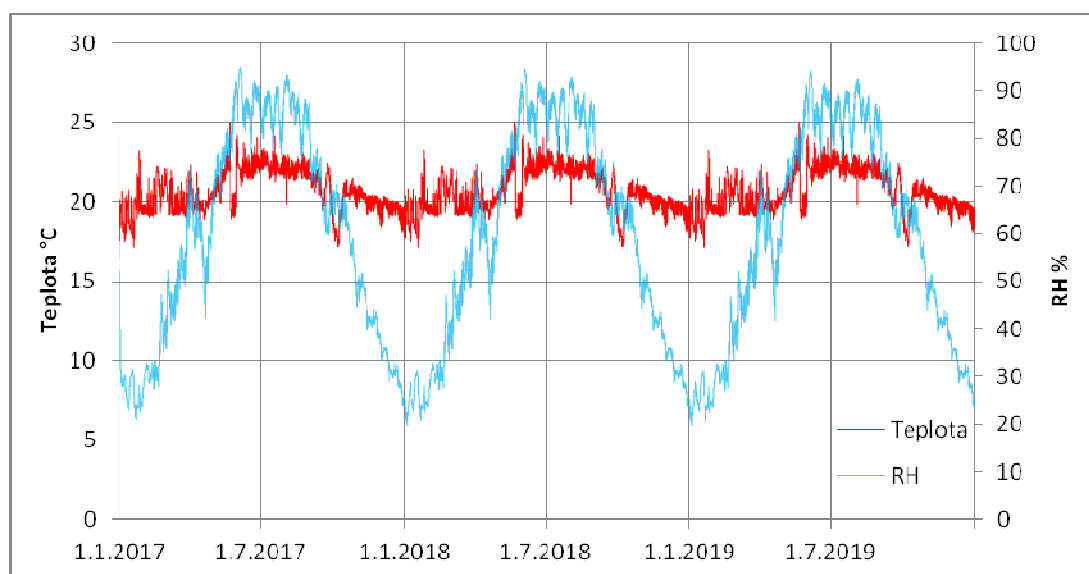
6.4. Analýza výsledků dynamických simulací u plochých střech chráněných prostorem před vnějšími vlivy

Analýza výsledku z dynamických simulací bude probíhat stejně jako v předešlém případě. Zde je místo tepelně izolačního materiálu na bázi polyisokyanurátových desek použit expandovaný polystyren. U něho jsem volil počáteční relativní vlhkost 80 %, což dle databáze softwaru WUFI odpovídá objemové hmotnosti vlhkosti cca $1,8 \text{ kg.m}^{-3}$. Počátek simulace pro obě skladby byl zvolen den 1.1. 2017 v 0:00 hod. Doba simulace byla prováděna pro období 3 let, což odpovídá 26 280 krokům (hodinám). Vlastnosti všech materiálů jsou specifikovány v příloze A a B této diplomové práce.

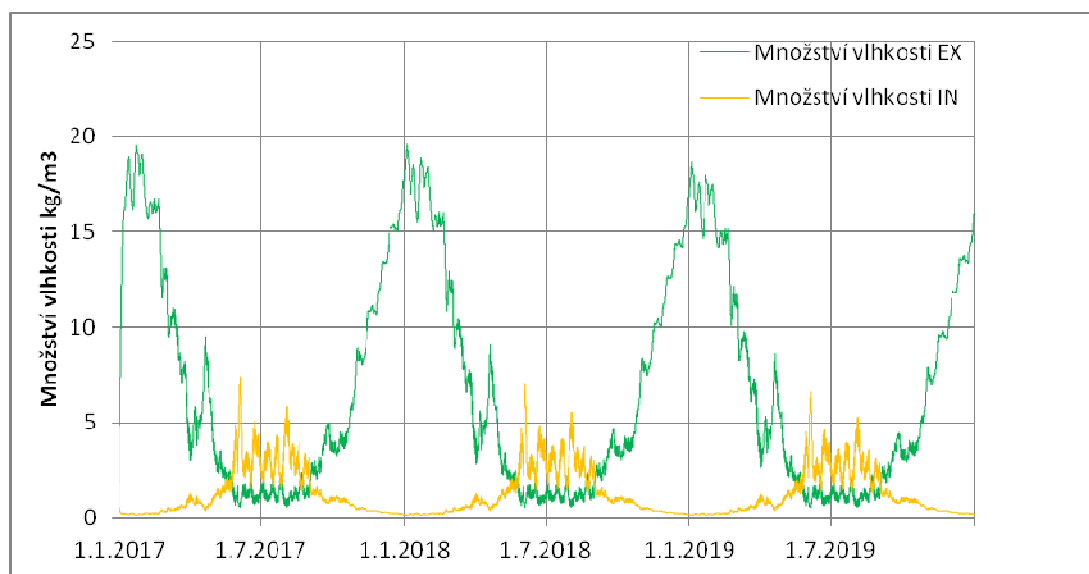
6.4.1. Analýza skladby S04



Obr. 53. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi EPS a HI v S04



Obr. 54. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi parozábranou a EPS v S04



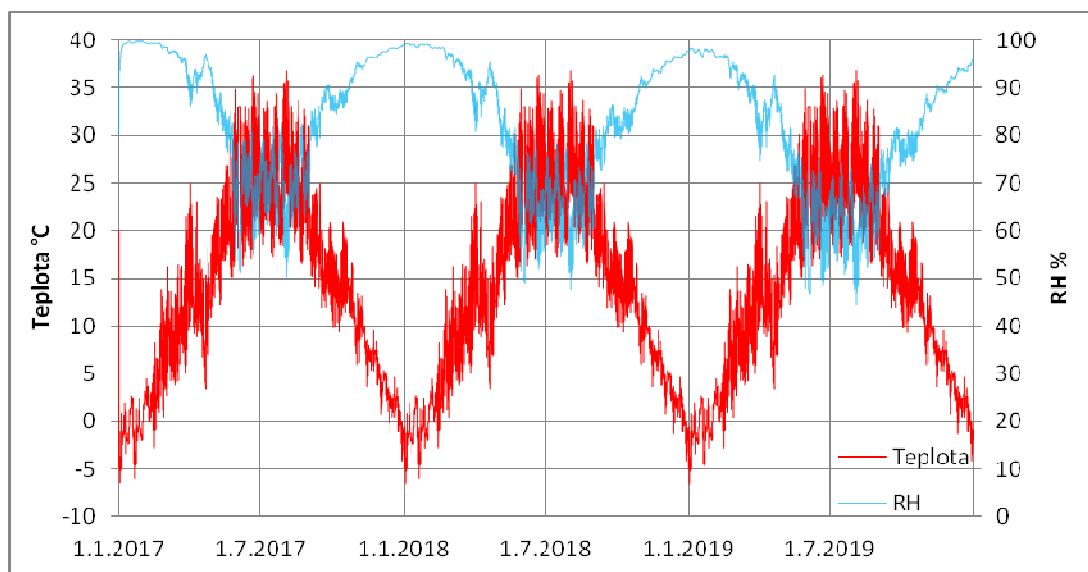
Obr. 55. Množství vlhkosti v horní a spodní vrstvě EPS v S04

Dílčí závěr vyplývající z obr. 53, 54 a 55

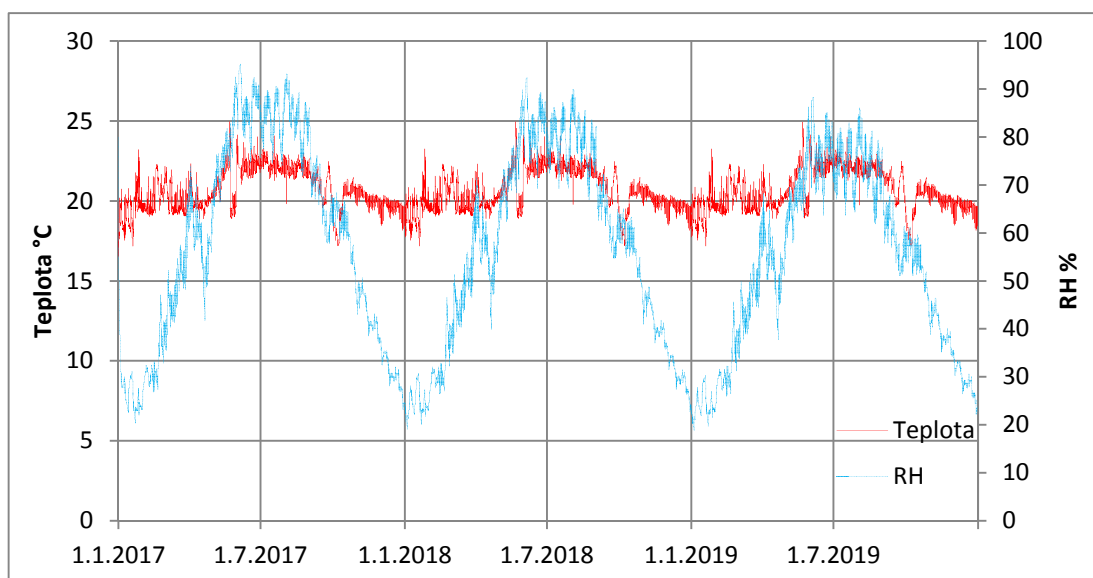
Na Obr. 55 lze vidět, že ke snižování množství vlhkosti v tepelně izolační vrstvě dochází v porovnání s předchozími skladbami ve velmi malém měřítku. V průběhu zimních měsíců lze vidět navyšování množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu a navyšování množství vlhkosti v letních měsících v dolní vrstvě tepelného izolantu. To odpovídá rozdílnému směru hmotnostnímu toku vlhkosti v letních a zimních

měsících. Jde také vidět, že naakumulované množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu plně vyschne během letních měsíců stejně jako v předešlých případech. Významným rozdílem je však absence vlivu slunečního záření na tuto skladbu. Průběh teplot odpovídá průběhu vnějším a vnitřním okrajovým podmínkám. Tento zásadní vliv se projevil na průběhu relativních vlhkostí jak na horní tak na spodní vrstvě. Na horní vrstvě dosahují relativní vlhkosti v zimních měsících až k 99 %. V měsících listopad, prosinec, leden, únor a březen dosahuje relativní vlhkost hodnot 95 % - 100 %. Lze tedy konstatovat, že v tuto dobu dochází ke kondenzaci vlhkosti. Maximální naakumulované množství v horní vrstvě tepelného izolantu je cca $19,6 \text{ kg.m}^{-3}$, to odpovídá cca $3,1 \text{ kg.m}^{-2}$ nebo hmotnostnímu množství vlhkosti 98 %. Při tomto množství vlhkosti dojde ke zhoršení součinitele tepelné vodivosti cca o $0,002 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, což má minimální vliv na tepelně technické parametry této skladby. V důsledku vložení tepelné izolace mezi parozábranu a povlakovou hydroizolaci z asfaltových pásů, jakožto materiály slabě difúzně prostupné pro vodní páry, dochází k zabránění vysychání naakumulované vlhkosti. Vlhkost je v této skladbě uzavřena a vzniká tzv. vlhkostní past. Na obr. 55 lze vidět velmi pomalé vysychání zabudované vlhkosti, které se může pohybovat v řadách desítek let. Během dlouhodobé akumulace vlhkosti v tepelně izolačních materiálech dochází k degradaci.

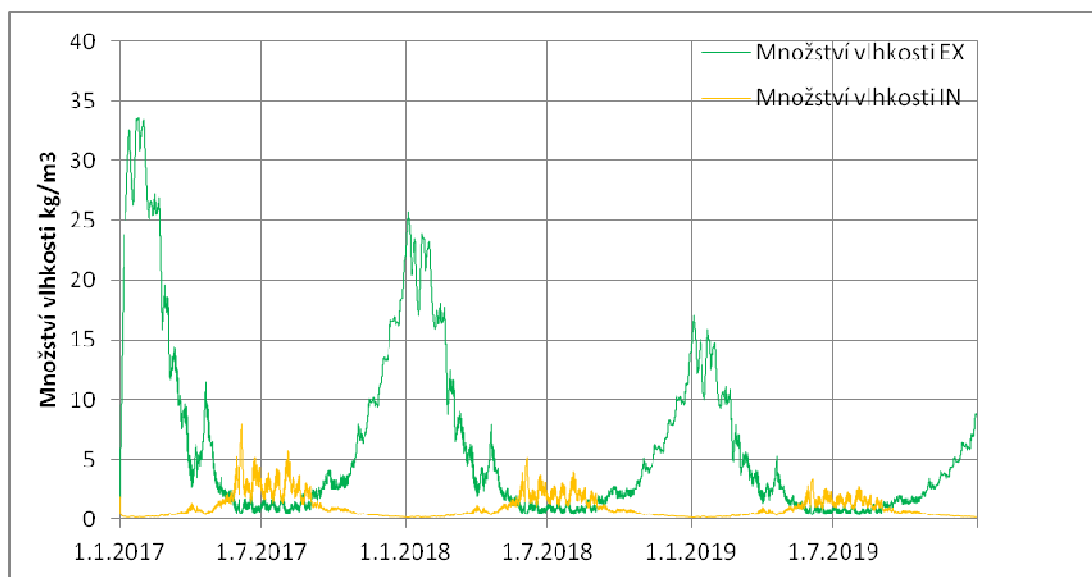
6.4.2. Analýza skladby S05



Obr. 56. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi EPS a HI v S05



Obr. 57. Průběh teplot a relativních vlhkostí mezi parozábranou a EPS v S05



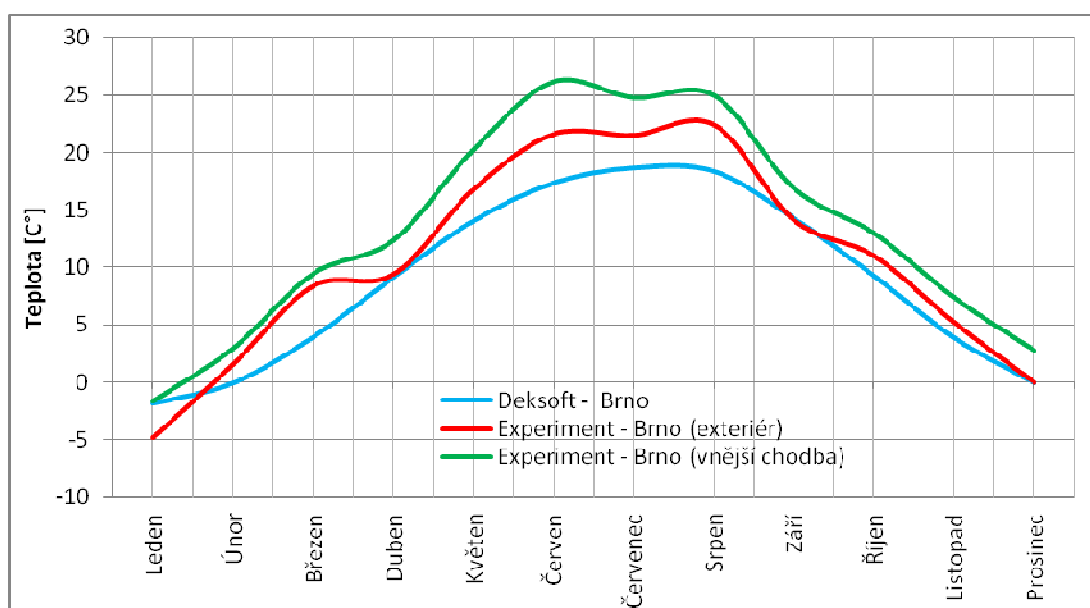
Obr. 58. Množství vlhkosti v horní a spodní vrstvě EPS v S05

Dílčí závěr vyplývající z obr. 56, 57 a 58

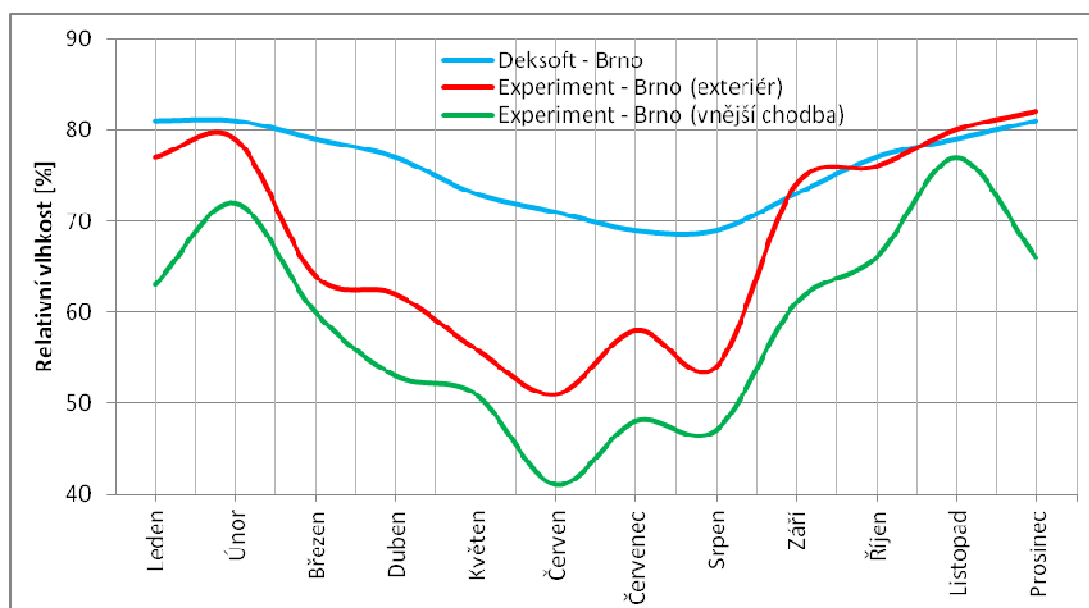
Na Obr. 56 lze vidět, že dochází ke snižování množství vlhkosti v tepelně izolační vrstvě tzn. je zde kladná bilance naakumulované vlhkosti. Vlivem daleko menšího faktoru difúzního odporu, než je tomu v předchozí skladbě, je proces vysychání tepelného izolantu daleko příznivější. V průběhu zimních měsíců lze vidět navyšování množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu a navyšování množství vlhkosti v letních měsících v dolní vrstvě tepelného izolantu. Jde také vidět, že naakumulované množství vlhkosti v horní vrstvě tepelného izolantu plně vyschne během letních měsíců. Maximální naakumulované množství v horní vrstvě tepelného izolantu je cca $33,6 \text{ kg.m}^{-3}$, to odpovídá cca $5,4 \text{ kg.m}^{-2}$ nebo hmotnostnímu množství vlhkosti 168 %. Při tomto množství vlhkosti dojde ke zhoršení součinitele tepelné vodivosti cca o $0,003 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, což může mít vliv na tepelně technické parametry této skladby.

6.5. Analýza výsledků ze softwaru DEKSOFT

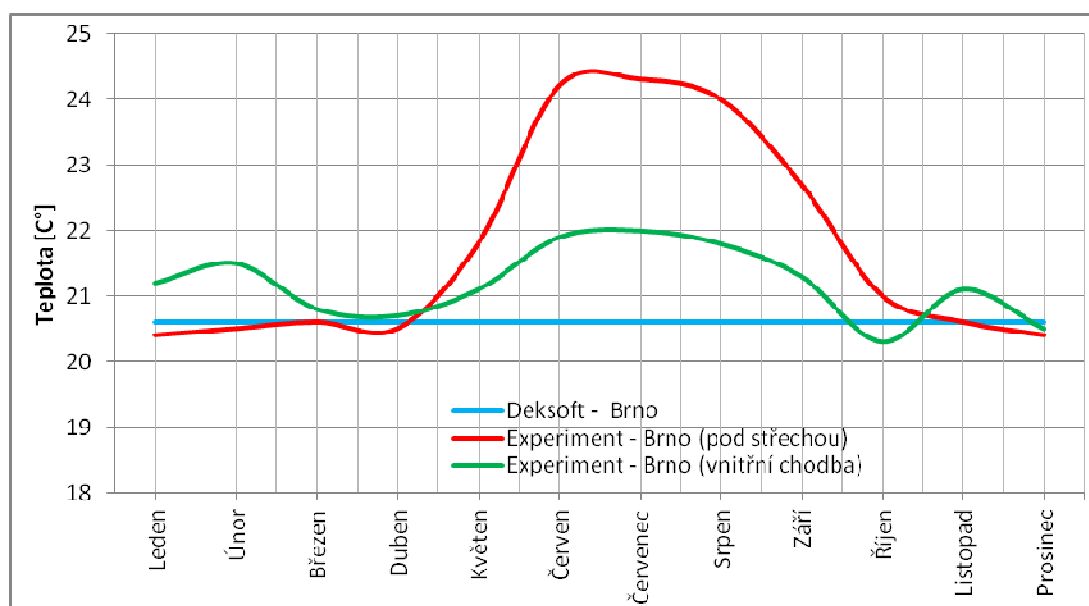
Výpočty a posouzení probíhali dle norem [34], [35], [36], [37]. Okrajové podmínky použity pro výpočty jsou popsány v kapitole 6.1.1. Pro přiblížení k našim naměřeným experimentálním výsledkům byly do výpočtů zahrnuty varianty s průměrnými měsíčními hodnotami teplot a relativních vlhkostí z dat naměřených na modelech. Průběhy a porovnání těchto hodnot jsou zobrazeny v následujících grafech:



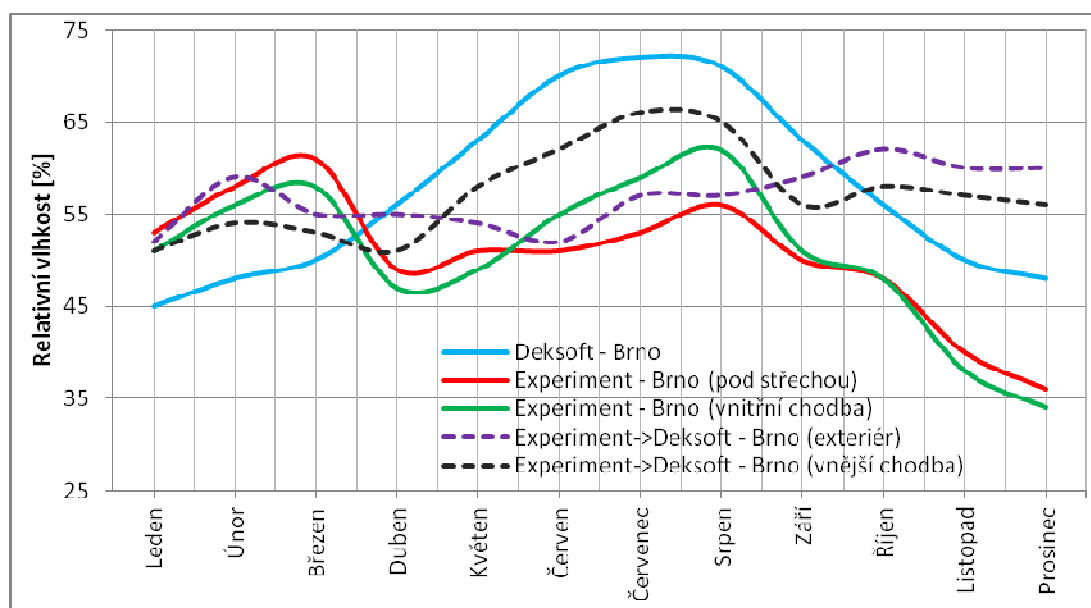
Obr. 59. Průměrné měsíční teploty v exteriéru dle normy a experimentu



Obr. 60. Průměrné měsíční relativní vlhkosti v exteriéru dle normy a experimentu



Obr. 61. Průměrné měsíční teploty v interiéru dle normy a experimentu



Obr. 62. Průměrné měsíční relativní vlhkosti interiéru dle normy a experimentu

Dále bylo dle norem [34], [35], [36], [37] vyhodnoceny a porovnány následující tepelně technické vlastnosti:

- součinitel prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]
- roční množství zkondenzované vodní páry M_c [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$]
- roční množství vypařitelné vodní páry M_{ev} [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$]
- roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry

V následujících tabulkách jsou výše zmíněné porovnány:

Tab. 6. Souhrnná tabulka vyhodnocení součinitelů prostupu tepla

Konstrukce		Součinitel prostupu tepla			
		Dle českých technických norem			
Ozn.	Název	U_N	U_{rec}	U	Hod.
[-]	[-]	$[W/(m^2K)]$	$[W/(m^2K)]$	$[W/(m^2K)]$	[-]
S01	Skladba - SBS AP + EPS (norma)	0,24	0,16	0,220	+
S02	Skladba - PVC-P + EPS (norma)	0,24	0,16	0,221	+
S03	Skladba - PVC-P + PIR (norma)	0,24	0,16	0,132	x
S01	Skladba - SBS AP + EPS (experiment)	0,24	0,16	0,220	+
S02	Skladba - PVC-P + EPS (experiment)	0,24	0,16	0,221	+
S03	Skladba - PVC-P + PIR (experiment)	0,24	0,16	0,132	x

Legenda:
! ... nevyhovuje požadované hodnotě součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2
+ ... vyhovuje požadované hodnotě součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2
x ... vyhovuje doporučené hodnotě součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2
U ... vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla
 U_N ... požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2
 U_{rec} ... doporučená hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2

Tab. 7. Souhrnná tabulka vyhodnocení teplotních faktorů vnitřního povrchu

Konstrukce		Teplotní faktor					
		ČSN 73 0540			ČSN EN ISO 13788		
Ozn.	Název	$f_{Rsi,N}$	f_{Rsi}	Hod.	$f_{Rsi,N}$	f_{Rsi}	Hod.
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
S01	Skladba - SBS AP + EPS (norma)	0,747	0,947	+	0,762	0,947	+
S02	Skladba - PVC-P + EPS (norma)	0,747	0,946	+	0,762	0,946	+
S03	Skladba - PVC-P + PIR (norma)	0,747	0,968	+	0,762	0,968	+
S01	Skladba - SBS AP + EPS (experiment)	0,747	0,947	+	1,000	0,947	!
S02	Skladba - PVC-P + EPS (experiment)	0,747	0,946	+	1,000	0,946	!
S03	Skladba - PVC-P + PIR (experiment)	0,747	0,968	+	0,772	0,968	+

Legenda:
! ... nevyhovuje požadované hodnotě
+ ... vyhovuje požadované hodnotě

Tab. 8. Šíření vodní páry ve sledovaných konstrukcích a jejich vyhodnocení

Konstrukce		Šíření vodní páry							
		ČSN 73 0540				ČSN EN ISO 13788			
Ozn.	Název	M_C	$M_{C,N}$	Hod.	Bil.	M_C	$M_{C,N}$	Hod.	Bil.
[-]	[-]	[kg/(m ² .a)]	[kg/(m ² .a)]	[-]	[-]	[kg/(m ² .a)]	[kg/(m ² .a)]	[-]	[-]
S01	Skladba - SBS AP + EPS (norma)	0,020	0,100	+	+	0,020	0,100	!	!
S02	Skladba - PVC-P + EPS (norma)	0,008	0,100	+	+	0,005	0,063	+	+
S03	Skladba - PVC-P + PIR (norma)	0,000	0,100	+	+	0,000	0,100	+	+
S01	Skladba - SBS AP + EPS (experiment)	0,020	0,100	+	+	0,012	0,100	+	+
S02	Skladba - PVC-P + EPS (experiment)	0,008	0,100	+	+	0,000	0,100	+	+
S03	Skladba - PVC-P + PIR (experiment)	0,000	0,100	+	+	0,000	0,100	+	+

Legenda:
 ! ... nevyhovuje požadované hodnotě / pasivní bilance kondenzace a vypařování
 + ... vyhovuje požadované hodnotě / aktivní bilance kondenzace a vypařování
 Poznámka: V tabulce jsou uvedeny pouze základní posouzení. Některé další požadavky (např. vlhkost v místě zabudovaného dřeva) jsou hodnoceny v podrobném protokolu.

Poznámka: Skladba – SBS AP + EPS a Skladba PVC-P + EPS odpovídá skladbám S04 a S05. Skladba PVC-P + PIR odpovídá skladbám S01, S02 a S03

Hodnocené skladby S04 a S05 vyhovují požadavkům na součinitel prostupu tepla. Skladby S01, S02 a S03 vyhovují doporučeným hodnotám součinitelů prostupu tepla. Z hlediska hodnocení teplotního faktoru vnitřního povrchu vyhovují všechny zkoumané skladby. Z hlediska hodnocení šíření vodní páry v konstrukci vyhoví dle ČSN 73 0540 všechny skladby. Dle ČSN EN ISO 13788 je z hlediska šíření vodní páry problémová skladba S04 (s uvažováním normových okrajových podmínek), kde dochází ke kondenzaci vodní páry, která se ani v příznivějších (letních) měsících nevypaří. Při zadání průměrných měsíčních hodnot z experimentálního měření však tomuto posouzení vyhoví.

6.6. Srovnání výsledků ze softwaru DEKSOFT a WUFI 2D

Srovnání výsledku probíhalo na základě norem [34], [35], [36], [37]. Byl porovnáván součinitel prostupu tepla U a bilance kondenzace a vypařování. Bohužel z výsledků dynamických simulací nebylo možné zjistit množství zkondenzované popř. vypařitelné vodní páry z konstrukce.

Tab. 9. Srovnání výsledků ze softwaru WUFI a DEKSOFT

Ozn.	ČSN 73 0540		ČSN EN ISO 13788	WUFI 2D	
	$U [W.m^{-2}K^{-1}]$	Bilance	Bilance	$U [W.m^{-2}K^{-1}]$	Bilance
S01	0,132	+	!	0,143	+
S02	0,132	+	+	0,143	+
S03	0,132	+	+	0,143	+
S04	0,220	+	+	0,231	+
S05	0,221	+	+	0,237	+

Součinitel prostupu tepla v případě dynamických simulací, byl stanoven na základě změny součinitele tepelné vodivosti v závislosti na množství vlhkosti v tepelně izolačním materiálu (viz subkapitola 6.5. a 6.6.). Nutno podotknout, že dle dynamických simulací se postupem času množství vlhkosti ve skladbách snižuje, což má kladný vliv na hodnoty součinitele prostupu tepla U .

7. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ V IN-SITU

Součástí výzkumu tepelně vlhkostní analýzy řešených skladeb plochých střech bylo sestavení experimentálního modelu. Experimentální model byl sestaven z důvodů ověření získaných poznatků z dynamických simulací provedených v programu WUFI 2D. Na modelu bylo provedeno experimentální měření teplot a relativních vlhkostí ve vrstvách tepelných izolantů (mezi hydroizolací a tepelně izolačním materiálem a mezi parozábranou a tepelně izolačním materiálem), teploty vzduchu vně i uvnitř konstrukcí, relativní vlhkosti vně i uvnitř konstrukcí a měření globálního slunečního záření. Změřené okrajové podmínky byly použity pro rozšíření a zpřesnění výpočtů v simulačním programu WUFI 2D, tak aby bylo možné porovnat chování modelu při výpočtech s referenčními a naměřenými okrajovými podmínkami.

7.1. Lokace a umístění modelů

K realizaci jednotlivých modelů bylo využito experimentální budovy společnosti Atelier DEK. Tato budova se nachází v Brně Horních Heršpicích na ulici Pražákova 625/52a. Vzhledem k vyšším průměrným intenzitám slunečního záření a celkové sumě dopadající sluneční energie na území jižní Moravy, v porovnání s ostatními částmi České republiky, je pro porovnávání vlivu slunečního záření na průběh teplot a vlhkostí v konstrukcích velmi vhodná.

7.2. Sestavení modelů

Realizace všech modelů probíhala v období na přelomu únoru a března, kdy byly sestaveny nosné konstrukce a samotné vrstvy předem diskutovaných skladeb. Během realizace samotných modelů bylo instalováno potřebné měřicí zařízení.

Jako první začalo sestavování modelů buněk vnějších exponovaných plochých střech (S01, S02 a S03). Na nosnou konstrukci z OSB desek byl nalepen modifikovaný asfaltový pás TOPDEK AL BARRIER. Velký důraz se kladlo na provedení této parozábrany hlavně v konstrukčních detailech, tak aby se zamezilo netěsnosti samotné vrstvy. Na tuto parozábranu byly realizovány desky na bázi polyisokyanurátu TOPDEK 022 PIR, které byly vloženy do samotné konstrukce buňky. Pro lepší představu níže uvádím fotografii modelů střech S01, S02 a S03 při pokládce polyisokyanurátových desek.



Obr. 63. Pokládka polyisokyanurátových desek jednotlivých modelů

Na horním povrchu desek byly vytvořeny drážky a prohlubně pro následnou instalaci měřících zařízení. Následovalo umístění měřících senzorů a jejich stabilizace.

Poté byly realizovány hlavní hydroizolační vrstvy ze dvou typů materiálů. Prvním typem je vícevrstvá hydroizolační fólie z měkčeného

polyvinylchloridu vyztužená polyesterovou mřížkou. Fólie je v bílém provedení a na horním povrchu je opatřena speciální úpravou pro vysokou odrazivost slunečního záření (S01). Druhým typem je fólie z měkčeného polyvinylchloridu s výztužnou vložkou z polyesterové rohože DEKPLAN 76 o tloušťce 1,5 mm. Barevné provedení této fólie je šedé (S02). U třetího modelu plochých střech byla použita také hydroizolační fólie DEKPLAN 76 s tím rozdílem, že její horní povrch byl natřen asfaltovou stěrkou z důvodů docílení černé barvy povrchu (S03).



Obr. 64. Pohled na experimentální modely vnějších exponovaných plochých střech S01, S02, S03

Měření těchto střech probíhalo v období 3.3. 2017 do 24.8. 2017. kdy byl model nahrazen modelem jiným.

Během realizace těchto skladeb probíhala práce na modelech plochých střech chráněnými prostorem před vnějšími vlivy (S04 a S05) ve vnitřních prostorech experimentální budovy. Začalo budováním samotné nosné konstrukce buněk z OSB desek. Tyto buňky byly rozděleny na dvě části. Jedna část simulovala těsnou vrstvu parozábrany, ta druhá simulovala parozábranu perforovanou (viz obr. 65). Perforace byly zhotoveny pomocí sedmi plastových kanálků o průměru 7 mm vedoucích

skrz parozábranu a OSB desku do vnitřní chodby. Parozábrana byla realizována ze samolepícího asfaltového pásu z SBS modifikovaného asfaltu s nosnou vložkou ze skleněné tkaniny, na horním povrchu opatřen spalitelnou PE folií GLASTEK 30 STICKER ULTRA. Také zde byl kladen důraz na opracování parozábrany z důvodů omezení netěsností. Na tuto parozábranu byly připevněny 2 snímače teploty a relativních vlhkostí (viz obr. 65).



Obr. 65. Pohled na rozdělení buňky modelu

Do takto připravené buňky se následně vkládala tepelná izolace z expandovaného polystyrenu EPS 100. Na horním povrchu desek byly vytvořeny drážky a prohlubně pro následnou instalaci snímačů teplot a relativních.



Obr. 66. Pohled na zabudování snímačů teplot a relativních vlhkostí

Na takto připravený model byla zřízena hydroizolační vrstva. V případě skladby S04 se na expandovaný polystyren opět aplikoval asfaltový pás GLASTEK 30 STICKER ULTRA, na který byl posléze nataven asfaltový pás z SBS modifikovaného asfaltu s nosnou vložkou z polyesterové rohože v podélném směru vyztužen skleněnými vlákny ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR. Na horním povrchu je pás opatřen břídlíčným posypem, na spodním separační PE fólií.



Obr. 67. Pohled na model skladby S04 (pravá část bez svrchního asfaltového pásu)

V případě skladby S05 se na expandovaný polystyren aplikovala separační vrstva - netkaná geotextilie ze 100% polypropylenu. Na tuto separační vrstvu byla provedena fólie z měkčeného polyvinylchloridu s výztužnou vložkou z polyesterové rohože DEKPLAN 76.

Měření těchto modelů začalo dne 10.3.2017 a stále probíhá. Pro analýzu v této diplomové práci bylo uvažováno s hodnotami do 4.12.

Všechny materiály a jejich vlastnosti použité na experimentálních modelech jsou blíže specifikovány v přílohách A a B.



Obr. 68. Pohled na model skladby S05 (pravá část bez fólie)

7.3. Měřící zařízení

Snímač teploty a vlhkosti HYT 221 (výrobce IST AG)

Přesně kalibrovaný, digitální senzor vlhkosti (odolný proti zarosení a s teplotní kompenzací) s rozhraním I²C. Další výhody jsou nízká hystereze, kompenzace chyby linearitu a teplotní posuv. Na sběrnici lze adresovat až 128 čidel. Snímač je odolný proti chemikáliím i mechanickému poškození, lze kompletně vyměnit. Vysoce kvalitní mikrosystém na keramickém podkladu s kapacitním polymerovým senzorem. S membránovým filtrem pro meteorologii, průmysl nebo lékařské přístroje.

Snímač teploty Pt1000

Odporové teplotní čidlo Pt1000 pro měření teploty vzduchu. Teplotní čidlo je použitelné jak pro interiéry tak pro exteriéry. Kompatibilní se všemi teploměry a regulátory, které umí vyhodnocovat odporové senzory Pt1000.

Převodník THT2 (výrobce Papouch)

THT2 je inteligentní digitální senzor k měření teploty a/nebo vlhkosti. Vlhkost měří přímo v procentech a teplotu ve stupních Celsia. Z obou hodnot umí vypočítat také rosný bod. Velmi nízká spotřeba senzoru přispívá k tomu, že lze jednoduše vytvořit měřicí síť propojenou čtyřmi vodiči (2x RS485 + 2x napájení) o délce až 1,2 km.

Převodník PPL 112 (výrobce Rawet)

PPL112 převádí signál z čidla Pt100, Pt1000 (-55 až +640°C) nebo Ni1000 (-40 až +230°C) na číslo v ASCII formátu. Dvou nebo třívodičové připojení čidla, převodník sám rozpozná typ čidla (Pt100 nebo Pt1000). Komunikuje po lince RS485 s nadřazenou stanicí s přenosovou rychlostí v rozmezí 600 až 19200 Bd. Je vhodný pro použití v průmyslovém prostředí.

Pyranometr SR 20-T1 (výrobce Hukseflux)

SR20 je pyranometr nejvyšší kategorie v klasifikačním systému ISO 9060: sekundární standard. Tento snímač slunečního záření se používá tam, kde je požadována nejvyšší přesnost měření. Měří sluneční záření přijaté plochým povrchem ve $W.m^{-2}$. SR20 sekundární standardní pyranometr umožňuje dosáhnout nejvyšší přesnosti měření.

Senzor EMS33 (výrobce EMS Brno)

Senzor teplot a vlhkosti venkovního vzduchu. Měření teplot v rozsahu - 40-60 °C. Přesnost měření teplot ± 0.15 K. Měření vlhkosti v rozsahu 0-100 % s přesností ± 2 %.

7.4. Syntéza dosažených výsledků u všech skladeb

7.4.1. Vliv slunečního záření

Velmi významný vliv na průběh teplot a relativních vlhkostí mají spektrální vlastnosti použitých materiálů a množství dopadené sluneční energie. V následující tabulce uvedu maximální hodnoty teplot a množství naakumulované vlhkosti v simulovaných skladbách v konkrétním místě a čase.

Tab. 10. Srovnání maximálních hodnot u skladem S01, S02 a S03

Model	Max. teplota [°C]	Max. množství vody [kg.m ⁻³]
S01	44,9	6,1
S02	63,9	5,1
S03	76,7	4,8

7.4.2. Vliv zabudované vlhkosti a difúzních vlastností použitých materiálů

V důsledku vložení tepelné izolace mezi parozábranu a povlakovou hydroizolaci z asfaltových, jakožto materiály slabě difúzně prostupné pro vodní páry, dochází k zabránění vysychání zabudované vlhkosti. Vlhkost je v této skladbě uzavřena a vzniká tzv. vlhkostní past. U takových materiálů platí pomalé vysychání zabudované vlhkosti, které se může pohybovat v řadách desítek let. Během dlouhodobé akumulace vlhkosti v tepelně izolačních materiálech dochází k degradaci.

7.4.3. Vliv závislosti součinitele tepelné vodivosti λ na množství vlhkosti v konstrukci

Velmi důležitým vlivem je závislost součinitele prostupu tepla na množství naakumulované popř. zabudované vlhkosti v tepelně izolačních materiálech. Při zvyšování vlhkosti dochází ke zhoršování této vlastnosti,

což má zásadní vliv na součinitel prostupu tepla U . Následkem pak může být rozpor s normami stanovenými součiniteli prostupu tepla

8. VALIDACE EXPERIMENTÁLNÍCH MODELŮ S DYNAMICKÝMI SIMULACEMI

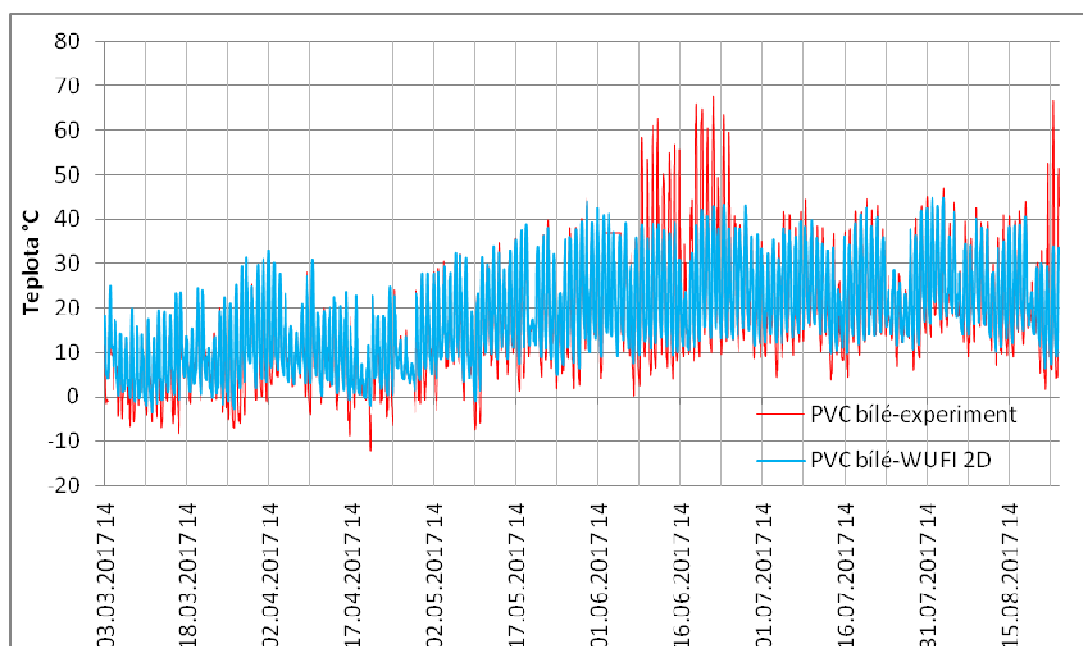
Pro možnost zjištění přesnosti výsledků získaných z prováděných dynamických simulací byly vytvořeny výpočtové modely odpovídající našemu experimentu. Důraz byl kladen na správné materiálové charakteristiky, správné nastavení okrajových podmínek a použití experimentálně naměřených klimatických dat.

Bylo vytvořeno celkem 5 modelů plochých střech popsanych v subkapitolách 6.3.1. a 6.3.2.

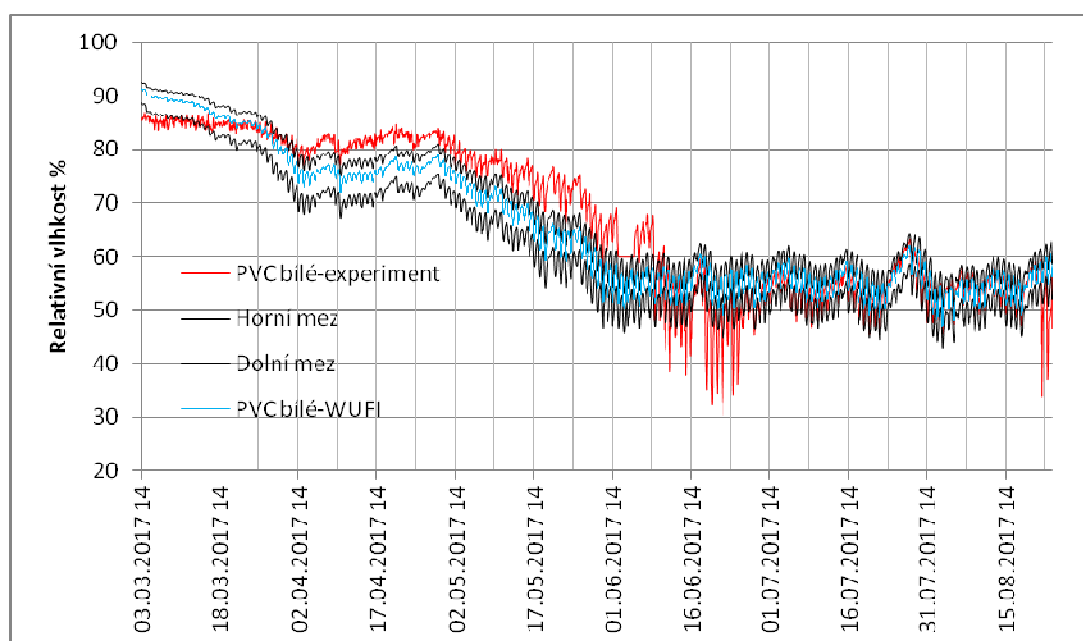
V následujících subkapitolách budou znázorněny srovnání jednotlivých dynamických simulací s experimentálně naměřenými hodnotami. U srovnávaných konstrukcí dochází k odchylkám v průbězích zkoumaných hodnot. To může být zapříčiněno rozdílnými vlastnostmi použitých materiálu mezi experimentem a výpočtovým modelem dynamické simulace.

8.1. Validace modelu S01

Na obr. 69 si můžeme všimnout navýšení průběhu teplot v polovině měsíce června, které nekorespondují s našim výpočtním modelem. Toto navýšení teplot proběhlo v důsledku zakrytí hydroizolace modelu modrou plachtou při demontážních pracích na střeše experimentální budovy probíhající od 12.6. do 26.6.



Obr. 69. Validace průběhu teplot u modelu S01

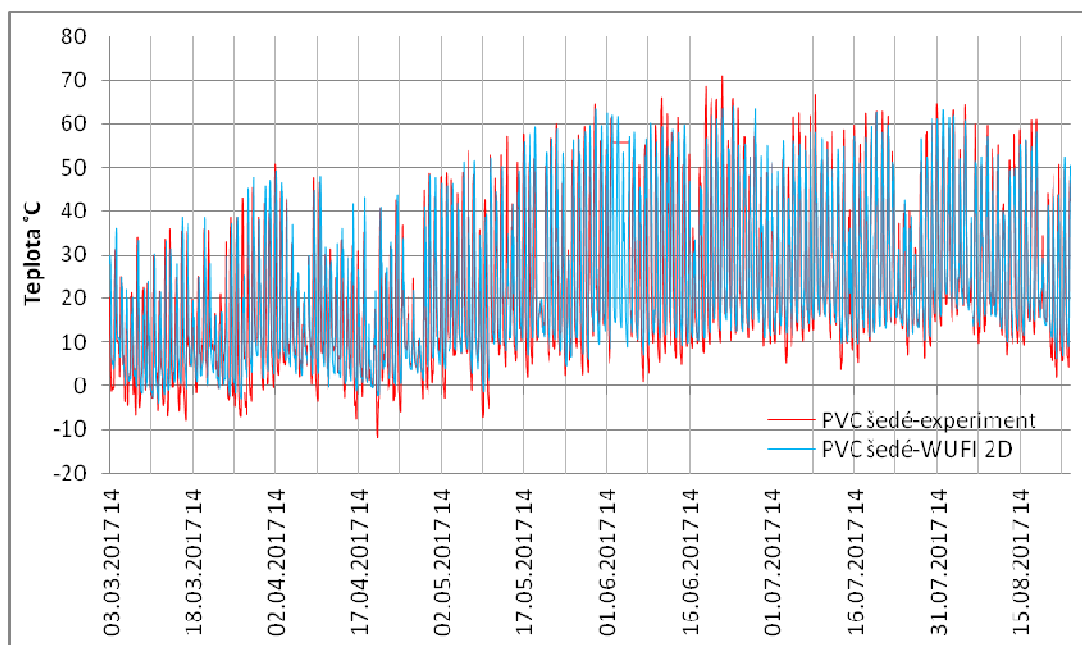


Obr. 70. Validace průběhu relativních vlhkostí u modelu S01

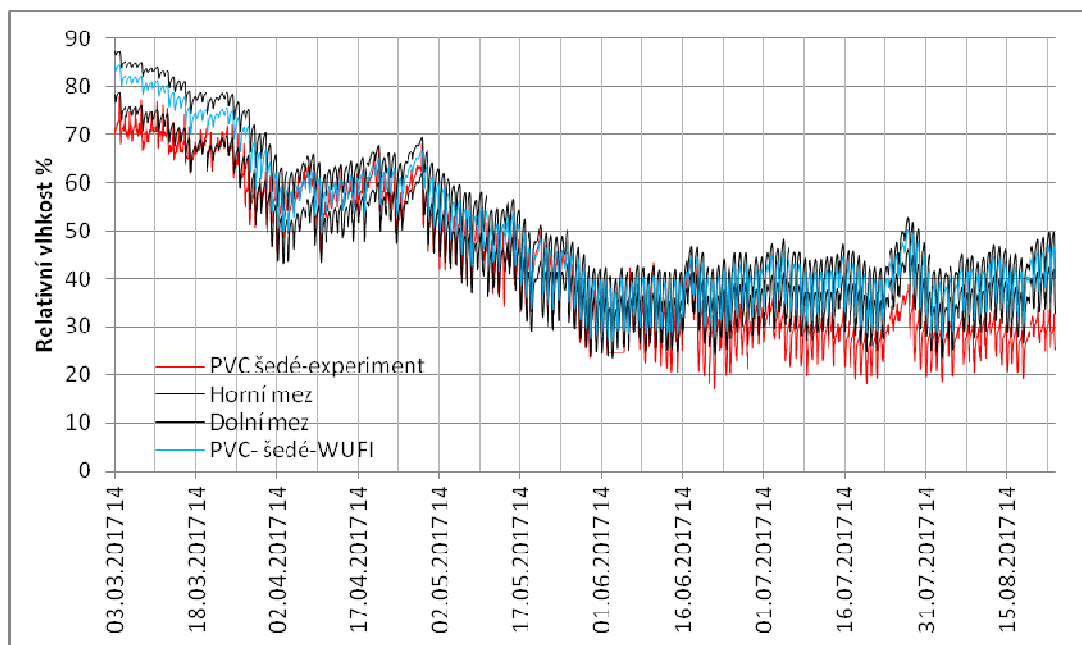
V obr. 70 jsou černými křivkami zobrazeny horní a dolní meze průběhů relativních vlhkostí v závislosti na odchylce difúzních vlastností hydroizolační vrstvy. Dolní mez = lepší vlastnosti parozábrany, horší

vlastnosti hydroizolace. Horní mez = horší vlastnosti parozábrany, lepší vlastnosti hydroizolační vrsvy.

8.2. Validace modelu S02

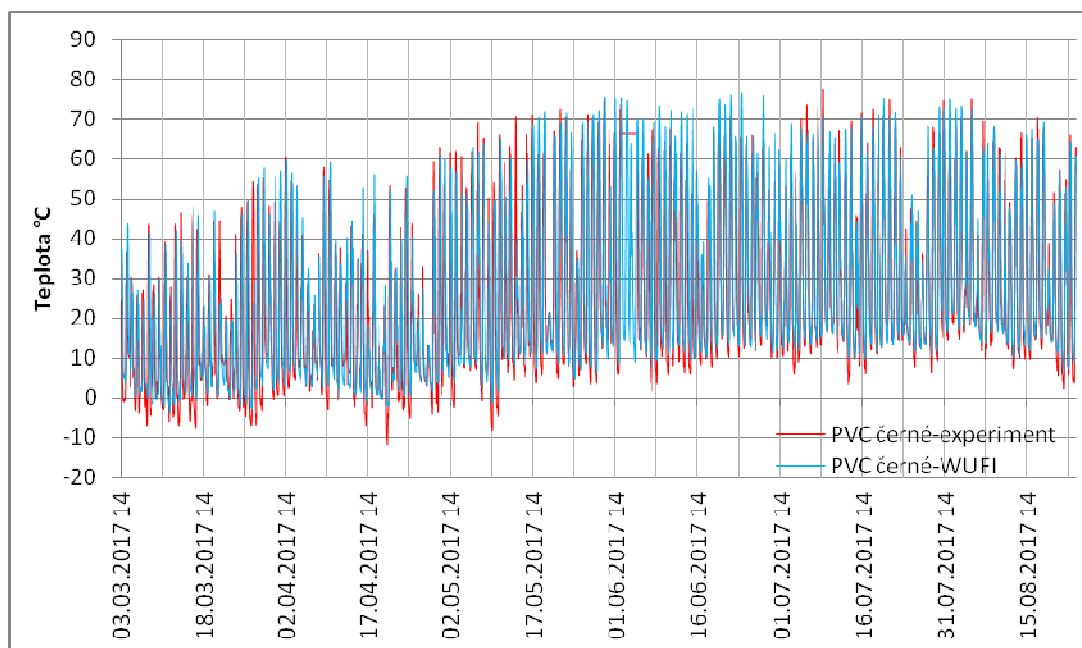


Obr. 71. Validace průběhu teplot u modelu S02

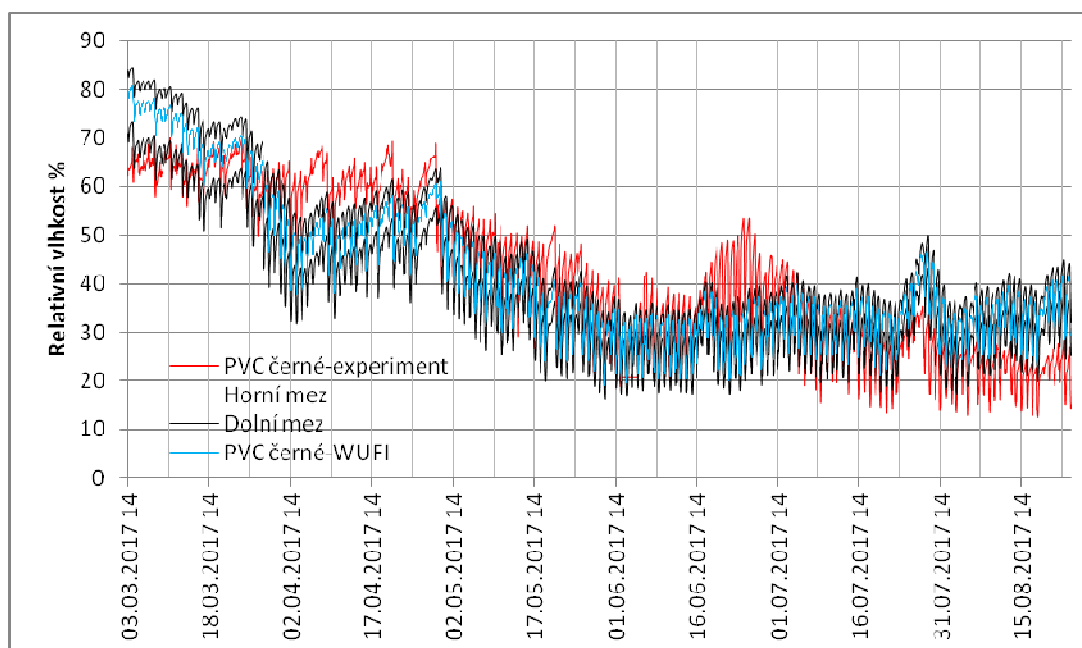


Obr. 72. Validace průběhu relativních vlhkostí u modelu S02

8.3. Validace modelu S03



Obr. 73. Validace průběhu teplot u modelu S03

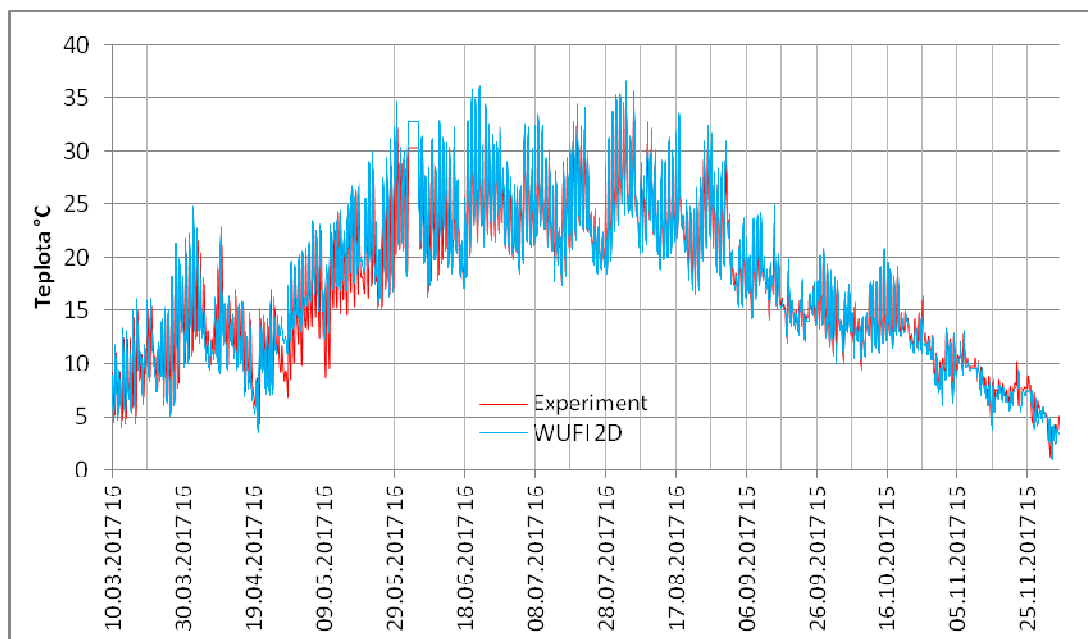


Obr. 74. Validace průběhu relativních vlhkostí u modelu S03

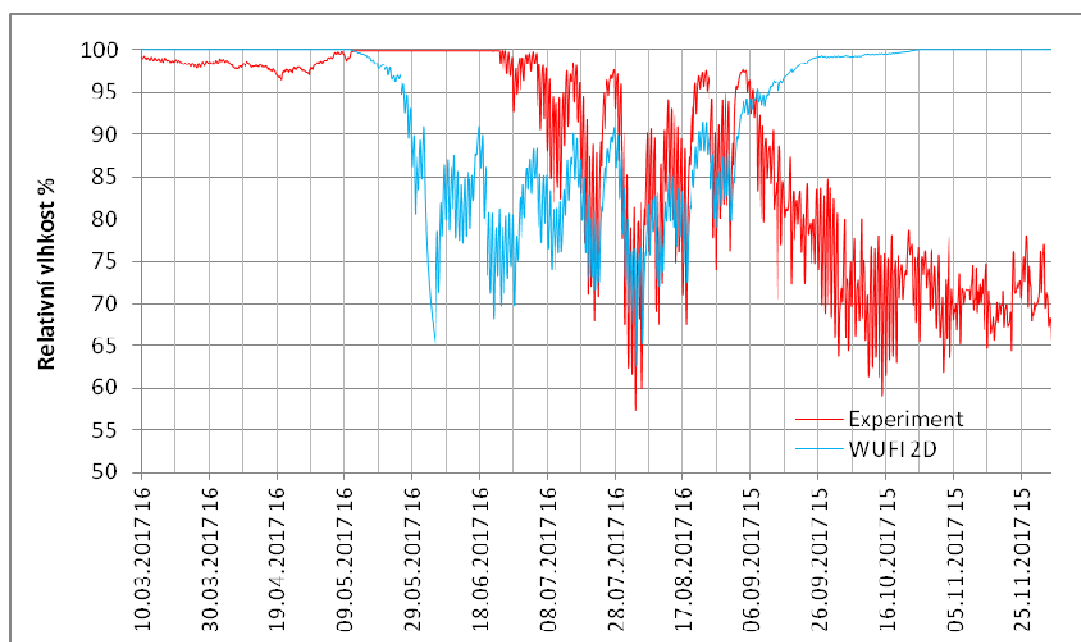
8.4. Validace modelu S04

Pro ukázkou validací této skladby budou zobrazeny pouze průběhy teplot a relativních vlhkostí mezi tepelně izolačním materiálem a hydroizolací u varianty modelu bez perforace parozábrany.

Analýza dynamických simulací byla u této skladby velmi problematická. Přes nespočet simulací bylo velmi problematické přiblížit se experimentálním hodnotám průběhů relativní vlhkosti. Proto se analýzou této skladby budu zabývat i v následujícím období, po získání většího množství dat.



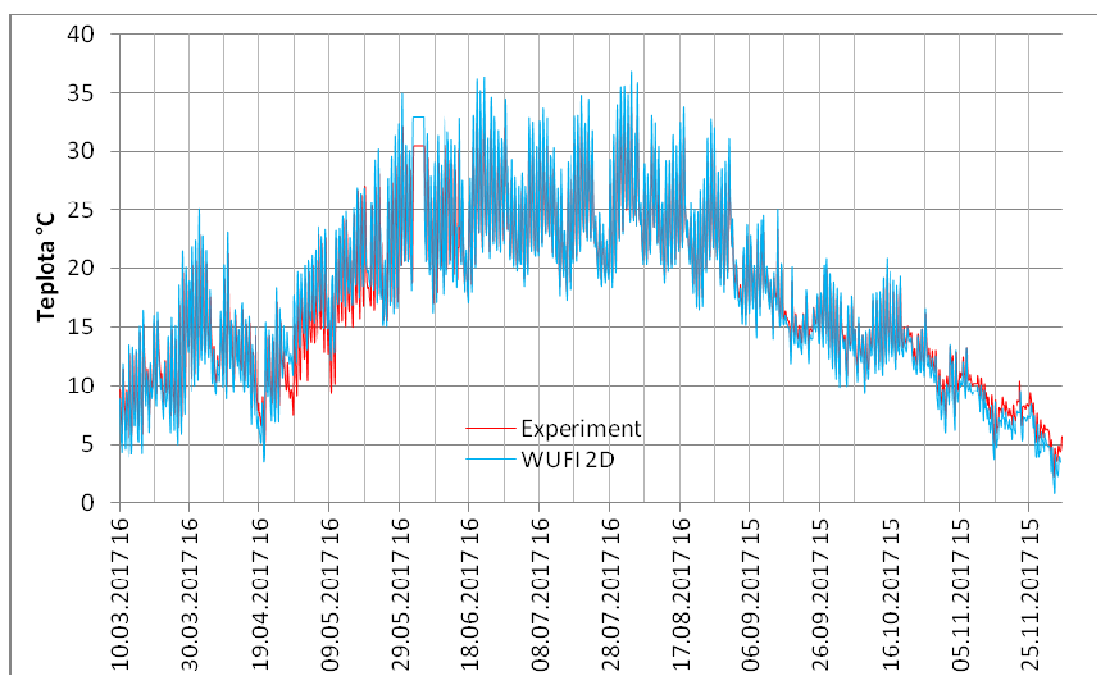
Obr. 75. Validace průběhu teplot u modelu S04



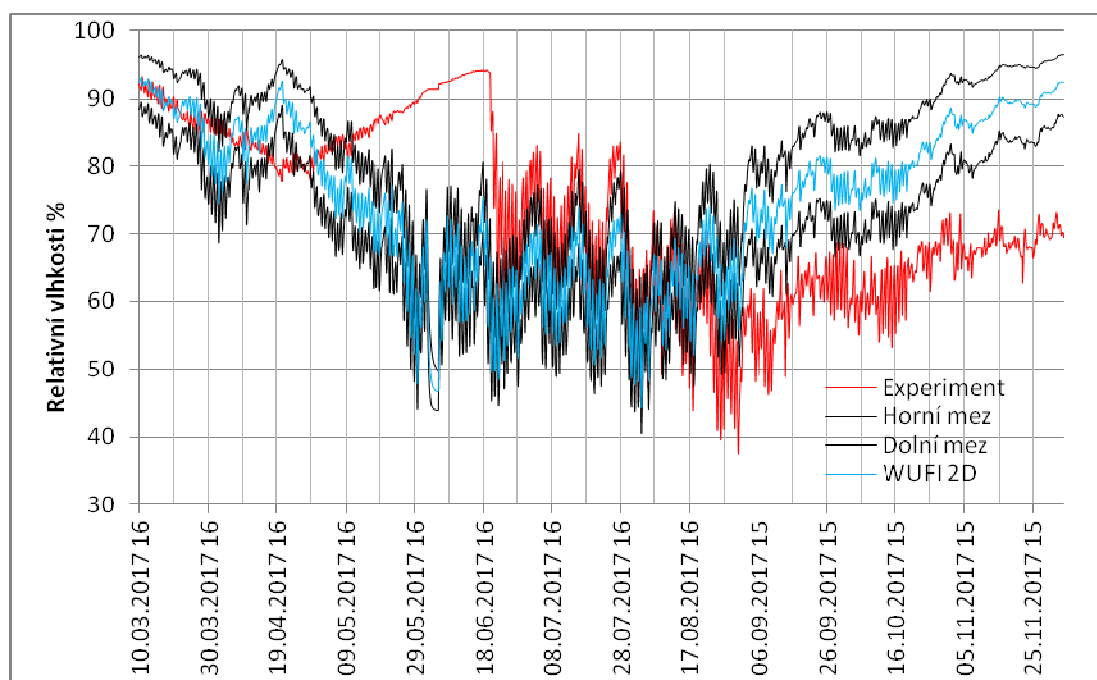
Obr. 76. Validace průběhu relativních vlhkostí S04

8.5. Validace modelu S05

Pro ukázkou validace této skladby budou opět zobrazeny pouze průběhy teplot a relativních vlhkostí mez tepelnou izolací a hydroizolací. Také touto skladbou se budu zabývat i v následujícím období. I když je průběh teplot téměř identický s výpočtovým modelem, průběhy relativních vlhkostí nejsou uspokojivé.



Obr. 77. Validace průběhu teplot u modelu S05



Obr. 78. Validace průběhu relativních vlhkostí u modelu S05

9. ZÁVĚRY PRO TECHNICKOU PRAXI

Pro správný návrh skladeb všech konstrukcí je nezbytné znát materiálové vlastnosti všech použitých materiálů. Neznalostí těchto vlastností může mít za následek výrazné zmenšení životnosti konstrukcí. Významným vlivem, který ovlivňuje životnost konstrukce je také množství zabudované vlhkosti.

Součinitel tepelné vodivosti výrazně roste s množstvím vlhkosti obsaženém v materiálu. To má nepříznivý vliv jak na součinitel prostupu tepla, tak i na snížení teploty uvnitř konstrukce. Snížením teplot uvnitř konstrukce se zvýší množství zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce nad úroveň, kterou předpokládají jednoduché výpočetní postupy uvedené v českých i evropských normách.

V důsledku vložení tepelné izolace mezi parozábranu a povlakovou hydroizolaci z asfaltových pásů, jakožto materiály slabě difúzně prostupné pro vodní páry, dochází k zabránění vysychání zabudované vlhkosti. Vlhkost je v této skladbě uzavřena a vzniká tzv. vlhkostní past. U takových materiálů je pomalé vysychání zabudované vlhkosti, které se může pohybovat v řadách desítek let. Během dlouhodobé akumulace vlhkosti v tepelně izolačních materiálech dochází k degradaci. V konstrukcích plochých střech s parozábranou se tudíž jako lepší varianta jeví použití povlakových hydroizolací o nižších difúzních vlastnostech než je tomu u asfaltových pásů.

V případě nezapočítání slunečního záření do tepelně technického výpočtu budou výpočty z dlouhodobého hlediska na straně bezpečnosti. Sluneční záření však může působit i negativně, a to v případech kdy po dlouhotrvajících mrazech se nahromadí zkondenzované množství vlhkosti pod hydroizolačním souvrstvím. Díky slunečním paprskům dojde k rychlému zahřátí materiálů a ke změně skupenství vlhkosti a tedy k rychlému zvětšení objemu této vlhkosti. Následkem může být porušení hydroizolačního souvrství.

V potaz musí být brát také vliv dlouhodobého záření. To působí tak, že dochází k výměně energie zvýšeným tepelným tokem mezi střešním pláštěm a oblohou. Výsledkem je výrazně nižší vnější povrchová teplota, což zapříčiní zvýšení zkondenzované vlhkosti uvnitř střešního pláště.

10. DALŠÍ MOŽNOSTI VÝZKUMU

Experimentální model

- dlouhodobé měření povrchových teplot pod více typy střešních hydroizolací a povrchových úprav experimentálních plochých střech
- dlouhodobé měření vlivu slunečního záření na degradaci různých střešních hydroizolací
- dlouhodobé měření vlivu slunečního záření na objemové změny různých střešních hydroizolací
- využití termovizního měření pro analýzu průběhu teplot
- rozšíření sítě snímačů v průběhu tloušťky skladby za účelem přesnější analýzy transportu vlhkosti

Laboratorní zkoušky

- provést laboratorní zkoušky tepelně izolačních hmot pro stanovení závislosti součinitele prostupu tepla na množství vlhkosti v materiálu
- provést laboratorní zkoušky tepelně izolačních hmot pro stanovení závislosti součinitele prostupu tepla na různých teplotách

11. ZHODNOCENÍ VYTYČENÝCH CÍLŮ

Cílem této práce bylo porovnání transportu vlhkosti v konstrukcích plochých střech dle výpočetních postupů vyvinutých v 60. letech 20. století ze kterých vycházejí normy ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540 tzv. Glaserových metod a mnohem sofistikovanějších dynamických simulací rozšířené o poznatky až do nynější doby. Tento cíl byl dosažen provedením stacionárních výpočtů v softwaru DEKSOFT – Tepelná technika 1D a dynamických počítačových simulací v softwaru WUFI 2D. Pro ověření správnosti dynamických simulací byly výsledky validovány měřeními na vybudovaných experimentálních modelech. Experimentální modely jsem rozdělil na dvě skupiny. První skupinou byly vnější exponované ploché střechy (S01, S02 a S03) na kterých se zkoumal vliv slunečního záření na průběh teplot a relativních vlhkostí v konstrukci. Druhou skupinou byly ploché střechy chráněné prostorem před vnějšími vlivy (S04 a S05) u kterých jsme sledovali průběhy teplot a relativních vlhkostí uvnitř konstrukce bez vlivu slunečního záření.

Z analýzy získaných dat z dynamických počítačových simulací a z experimentálně naměřených dat byla určena závislost průběhů teplot a relativních vlhkostí v konstrukci na:

- spektrálních vlastnostech vnějších povrchů konstrukcí
- difúzních vlastnostech použitých materiálů
- množství zabudované vlhkosti v konstrukci
- závislosti součinitele prostupu tepla na množství vlhkosti

Tímto zadané cíle této diplomové práce byly splněny. Je ovšem možné na danou práci navázat a dále prohloubit získané znalosti. Možnosti navázání a doplnění jsem popsal v předchozí kapitole 10.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KAŠÍK, B a KARÁSEK, B. Polystyrénové plasty. místo neznámé: Institut pro výchovu vědeckých pracovníků Ministerstva průmyslu ČSR, 1982.
- [2] HALAHYJA, M. Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie. Bratislava : ALFA, 1985.
- [3] VAVERKA, J. Stavební tepelná technika a energetika budov. Brno : Nakladatelství VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- [4] ŠŤASTNÍK, S. Problémy šíření tepla a vlhkosti ve stavebních látkách. Brno : VUTIUM, 2009. ISBN 978-80-214-3907-8.
- [5] ŠŤASTNÍK, S. Fyzika stavebních látek. Brno : VUT Brno, 2009.
- [6] PLANCKŮV VYZAŘOVACÍ ZÁKON. Fakulta strojního inženýrství. [Online] [Citace: 19. 12 2015.] <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0202.htm>.
- [7] Absolutně černé těleso Planckův vyzařovací zákon. Aldebaran. [Online] [Citace: 20. 12 2015.] <http://aldebaran.cz/~blahova/F1KME/30.pdf>.
- [8] KÜNZEL, H.M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. PhD Thesis. Stuttgart: Fraunhofer Institute of Building Physics, 1995.
- [9] SLANINA, P. *Moisture Transport in Compact Flat Roofs*. PhD Thesis. Prague: Czech Technical University in Prague, 2009.

- [10] KRUS, M. (1996). Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials. Theoretical Principles and New Test Methods. PhD Thesis. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1996.
- [11] FICK, A. Über diffusion. *Annalen der Physik und Chemie*, 1855.
- [12] SCHIRMER, R. Diffusionszahl von Wasserdampf-Luft-Germischen und die Verdampfungsgeschwindigkeit (Diffusion coefficient of water vapour – air mixtures and rate of evaporation). *Beiheft Wrfahrenstechnik*, 1938.
- [13] KUMARAN, M.K. An Alternative Procedure for the Analysis of Data from the Cup Method Measurements for Determination of Water Vapor Transmission Properties. *Journal of Testing and Evaluation*, 1998.
- [14] KUMARAN, M.K. Hygrothermal Properties of Building Materials. In H.R. Trechsel (Ed), *Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2001.
- [15] LUIKOV, A.V. Systems of Differential Equations of Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies. *International Journal of Heat, Mass Transfer*, 1973.
- [16] KRISCHER, O. & Kast, W. *Die Wessenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik* (The scientific principles of drying technology). Berlin: Springer-Verlag, 1978.
- [17] ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. Praha: Český normalizační institut, 2005. Třídící znak 730540.

- [18] OCHS, F.; STUMPP, H.: Bestimmung der feuchte und temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen,
- [19] Wikipedia The Free Encyclopedia: *Sun* [online]. 2001, last updated 2010-4-20 [2010-4-20]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Sun>
- [20] Chemistry of the Environment : *Greenhouse Effect* [online]. 1996, 2008-3-26 [2010-4-20]. <http://bouman.chem.georgetown.edu/S02/lect23/lect23green.html>
- [21] KLECZEK, J. *Sluneční energie* : úvod do helioenergetiky. 1. vyd. Praha : SNTL, 1981. 192 s.
- [22] CIHELKA, J. *Sluneční vytápěcí systémy*. Praha : SNTL, 1984.
- [23] Atmospheric Science Data Center : Earth's Radiation Budget Facts [online]. 2007, [2010-4-21]. http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/radiation_facts.htm
- [24] VANĚK, J.; KŘIVÍK, P.; NOVÁK, V. Alternativní zdroje energie. ELEKTRONICKÉ SKRIPTUM VUT Brno 2006
- [25] Isofen Energy s.r.o. : *Teorie fotovoltaiky* [online]. 2009, <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [26] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe.html>
- [27] Český hydrometeorologický ústav : Dlouhodobé normály klimatických hodnot za období 1961-1190 [online]. 2010, [2015-8-28]. <http://www.chmu.cz/meteo/ok/okdata12.html>

- [28] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/dwe-files/45784.jpg>
- [29] EKO Instruments co., ltd. : Pyrheliometer MS-54 [online]. 1996,[2015-8-27].
<http://www.ekousa.com/products/am/pyrheliometer/MS54/index.html>
- [30] http://www.meteo.noa.gr/ENG/iersd_station-images.htm
- [31] Kipp & Zonen B.V. : Gebrauchsanleitung CM6B, CM7B [online]. 2003, [2015-8-22]. Dostupné z:
[http://www.kippzonen.com/?download/661/CM+6B+++7B+Pyranometer+Manual+\(German\).aspx](http://www.kippzonen.com/?download/661/CM+6B+++7B+Pyranometer+Manual+(German).aspx)
- [32] PHOTOVOLTAICS: Measuring the 'Sun'. *LaserFocusWorld* [online]. 2009 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z:
<http://www.laserfocusworld.com/articles/2009/05/photovoltaicsmeasuring-the-sun.html>
- [33] Český hydrometeorologický ústav : Dlouhodobé normály klimatických hodnot za období 1961-1190 [online]. 2010, [2015-8-28].
<http://www.chmu.cz/meteo/ok/okdata12.html>
- [34] ČSN 73 0540-4 *Tepelná ochrana budov – Část 1: Výpočtové metody*. Česká technická norma. © Praha: Český normalizační institut, 2005. 60 stran. [cit. 2014-12-14]
- [35] ČSN EN ISO 13788 *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody*. Česká technická norma. © Praha: Český normalizační institut, 2002. 40 stran. [cit. 2014-12-14]

- [36] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky: Změna Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [37] ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Česká technická norma. © Praha: Český normalizační institut, 2005. 96 stran.
- [38] ČSN EN 15026:2007. Hodnocení šíření vlhkosti stavebními dílci pomocí numerické simulace. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [39] Klimatická data. Meteorologická stanice VUT Brno.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	součinitel teplotní vodivosti	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
A	plocha	$[m^2]$
A_o	azimut Slunce	$[^\circ]$
b	tepelná jímavost	$[W^2 \cdot s \cdot m^{-4} \cdot K^{-2}]$
b	šířka	$[m]$
c	měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
c	rychlost světla	$[m \cdot s^{-1}]$
c_0	lokální znečištění atmosféry	$[-]$
f	frekvence	$[Hz]$
g	činitel prostup slunečního záření	$[-]$
g	hustota difúzního toku vodní páry	$[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$
g_A	hustota difúzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace	$[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$
g_B	hustota difúzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu	$[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$
g_c	zkondenzované množství vodní páry na rozhraní v konstrukci	$[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$
g_{ev}	vypařené množství vodní páry na rozhraní v konstrukci	$[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$
h	součinitel přestupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
h_{tot}	součinitel přestupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
h_r	součinitel přestupu tepla vlivem radiace	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
h_k	součinitel přestupu tepla při proudění	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
h_o	výška Slunce	$[^\circ]$
k	Boltzmannova konstanta	$[J \cdot K^{-1}]$
E_m	měrná akumulovaná energie	$[MJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$
f	faktor úbytku	$[-]$
I	intenzita globálního slunečního záření	$[W \cdot m^{-2}]$
I_o	sluneční konstanta	$[W \cdot m^{-2}]$
I_p	intenzita přímého slunečního záření	$[W \cdot m^{-2}]$
I_D	intenzita difúzního slunečního záření	$[W \cdot m^{-2}]$
l	délka	$[m]$
M_{aj}	dílčí množství zkondenzované (vypařitelné) vodní páry pro jasnou oblohu	$[kg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}]$

M_{az}	dílčí množství zkondenzované (vypařitelné) vodní páry pro zataženou oblohu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$
M_c	dílčí množství zkondenzované vodní páry	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$
$M_{c,N}$	požadované max. roční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$
M_{ev}	dílčí množství vypařitelné vodní páry	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$
m	hmotnost	$[\text{kg}]$
p	parciální tlak vodní páry	$[\text{Pa}]$
p_a	atmosférický tlak vzduchu	$[\text{Pa}]$
p_c	částečný tlak vodní páry při kondenzaci	$[\text{Pa}]$
p_i	částečný tlak vodní páry ve vzduchu na vnitřní straně konstrukce	$[\text{Pa}]$
p_e	částečný tlak vodní páry ve vzduchu na vnější straně konstrukce	$[\text{Pa}]$
$p_{sat,A}$	částečný tlak nasycené vodní páry na hranici A oblasti kondenzace	$[\text{Pa}]$
$p_{sat,B}$	částečný tlak nasycené vodní páry na hranici B oblasti kondenzace	$[\text{Pa}]$
$p_{sat,x}$	částečný tlak nasycené vodní páry v místě x	$[\text{Pa}]$
p_v	částečný tlak vodní páry	$[\text{Pa}]$
p_{sat}	částečný tlak nasycené vodní páry	$[\text{Pa}]$
p_x	částečný tlak vodní páry v konstrukci	$[\text{Pa}]$
q	hustota tepelného toku	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
Q_{Dden}	celková dopadená denní sluneční energie	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
Q	teplo	$[\text{J}]$
Q_o	dopadající sálavého tělesem	$[\text{J}]$
Q_A	část sálavého pohlcovaná tělesem	$[\text{J}]$
Q_R	část sálavého odražená tělesem	$[\text{J}]$
Q_T	část sálavého procházející tělesem	$[\text{J}]$
R_T	odpor konstrukce při prostupu tepla	$[\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$
R_{se}	odpor kce při přestupu tepla na ext.	$[\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$
R_{si}	odpor kce při přestupu tepla na int.	$[\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$
t	tloušťka	$[\text{m}]$
T	doba periodického opakování	$[\text{s}]$
T	termodinamická teplota	$[\text{W}]$
U	součinitel prostupu tepla	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

Z	Linkeho vztah	$[-]$
Z_p	difúzní odpor vztažený k částečnému tlaku vodní páry	$[m^2 \cdot s \cdot Pa \cdot kg^{-1}] = [m \cdot s^{-1}]$
Z_{pA}	difúzní odpor od vnitřního povrchu konstrukce k hranici A oblasti kondenzace	$[m \cdot s^{-1}]$
Z_{pB}	difúzní odpor od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu konstrukce	$[m \cdot s^{-1}]$
Z_{pi}	odpor při přestupu vodní páry na vnitřní straně konstrukce	$[m \cdot s^{-1}]$
Z_{pe}	odpor při přestupu vodní páry na vnější straně konstrukce	$[m \cdot s^{-1}]$
Z_{pT}	odpor konstrukce při prostupu vodní páry	$[m \cdot s^{-1}]$
α	pohltivost slunečního záření	$[-]$
$\alpha_{visible}$	pohltivost viditelného světla	$[-]$
γ_v	úhel dopadu paprsku na vod. rovinu	$[^\circ]$
γ_s	vodorovnou plochu na skl. rovinu	$[^\circ]$
Δt	rozdíl teplot	$[^\circ C \text{ nebo } K]$
Δt_f	fázový posun	$[h]$
δ	sluneční deklinace	$[^\circ]$
ε	pohltivost (emisivita)	$[-]$
θ	teplota	$[^\circ C \text{ nebo } K]$
$\theta_{ae,j}$	teplota venkovního vzduchu při zatažené obloze	$[^\circ C]$
$\theta_{ae,ev}$	teplota venkovního vzduchu při jasné obloze	$[^\circ C]$
θ_{ai}	návrhová teplota vnitřního vzduchu	$[^\circ C]$
θ_i	návrhová vnitřní teplota v zimním období	$[^\circ C]$
θ_e	návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období	$[^\circ C]$
θ_m	průměrná teplota materiálu	$[^\circ C]$
θ_n	teplota na rozhraní materiálů	$[^\circ C]$
θ_w	teplota rosného bodu	$[^\circ C]$
λ	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ_f	součinitel tepelné vodivosti s vlivem konvekce	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
ρ	objemová hmotnost	$[kg \cdot m^{-3}]$
φ	relativní vlhkost vzduchu	$[\%]$
φ_i	relativní vlhkost vnitřního vzduchu	$[\%]$
φ_e	relativní vlhkost venkovního vzduchu	$[\%]$
ψ	absolutní vlhkost vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$

ψ	objemová vlhkost původního materiálu/ vzorku	[kg·m ⁻³]
μ	faktor difuzního odporu	[-]
τ	čas	[s nebo hod]
τ	propustnost	[-]
Φ	tepelný tok	[W]
Φ_e	zářivý tok	[W]

SEZNAM PŘÍLOH

A – VLASTNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

B – SKLADBY VÝPOČETNÍCH KONSTRUKCÍ

C – SOUHRN DAT Z EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ


D – PROTOKOLY ZE SOFTWARE DEKSOFT - 1D

E – FOTODOKUMENTACE

F – VÝKRESOVÁ ČÁST

PŘÍLOHA A – VLASTNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

PŘÍLOHA A.1 – DEKPLAN 76

Parametry	Zkušební norma	DEKPLAN 76			
		1,2 mm	1,5 mm	1,8 mm	2,0 mm
šířka role	EN 1848-2	1,05; 1,6; 2,1 -0,5% / +1%		1,60 -0,5% / +1%	
délka role	EN 1848-2	20 -0% / +5% 25 -0% / +5%	15 -0% / +5% 20 -0% / +5%	15 -0% / +5%	
plošná hmotnost	EN 1849-2	1,45 -5% / +10%	1,85 -5% / +10%	2,20 -5% / +10%	2,35 -5% / +10%
účinná tloušťka	EN 1849-2	1,2 -5% / +10%	1,5 -5% / +10%	1,8 -5% / +10%	2,0 -5% / +10%
přímost	EN 1848-2	30			
rovinnost	EN 1848-2	10			
zjevné vady	EN 1850-2	vyhovuje			
rozměrová stálost	EN 1107-2	0,3			
faktor difúzního odporu (μ)	EN 1931	15000 ±4500			
odolnost proti krupobití	EN 13583	17			
účinek kapalných chemikálií včetně vody	EN 1847	vyhovuje			
chování při vnějším požáru	EN 13501-5	B _{ROOF} (t1), B _{ROOF} (t3)			
reakce na oheň	EN 13501-1	E			
vodotěsnost	EN 1928 metoda B	vyhovuje			
největší tahová síla - v podélném směru - v příčném směru	EN 12311-2 metoda A	1000 1000			
tažnost - v podélném směru - v příčném směru	EN 12311-2 metoda A	15 15			
odolnost proti prorůstání kořenů	EN 13948	NPD ¹⁾			
odolnost proti statickému zatížení	EN 12730	20			
odolnost proti nárazu	EN 12691	300			
odolnost proti protrhávání - v podélném směru - v příčném směru	EN 12310-2	180 180			
odolnost proti odlupování ve spoji	EN 12316-2	150			
smyková odolnost ve spoji - v podélném směru - v příčném směru	EN 12317-2	800 800			
expozice uv zářením	EN 1297	vyhovuje			
ohebnost za nízkých teplot	EN 495-5	- 25			
nebezpečné látky	–	NPD ¹⁾			

Poznámky:

1) Žádný ukazatel není stanoven

PŘÍLOHA A.2 – ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR

Vlastnost	Zkušební metoda	Požadavek ČSN 73 0605-1	Deklarovaná hodnota
délka	EN 1848-1	-	7,5 m
šířka	EN 1848-1	-	1,0 m
tloušťka	EN 1849-1	≥ 4,2 mm (± 5 % max. 0,2 mm)	4,5 (± 0,1) mm
zjevné vady	EN 1850-1	bez zjevných vad	bez zjevných vad
přímost	EN 1848-1	vyhovuje	vyhovuje
rozměrová stálost	EN 1107-1	≤ 0,3 %	0,3 %
přílnavost posypu	EN 12039	MDV (max. 30) %	25 (-25, +0) %
reakce na oheň	EN 13501-1	-	třída E
vodotěsnost	EN 1928	≥ 100 kPa	vyhovuje
tahové vlastnosti – největší tahová síla	EN 12311-1	≥ 500 N/50 mm	podélně 900 (± 250) N/50 mm příčně 800 (± 250) N/50 mm
tahové vlastnosti – tažnost	EN 12311-1	≥ 30 %	podélně 50 (± 10) % příčně 50 (± 10) %
odolnost proti nárazu (metoda A)	EN 12691	-	900 mm
odolnost proti statickému zatížení	EN 12730	-	10 kg
odolnost proti protrhávání (dřík hřebíku)	EN 12310-1	-	podélně 300 (± 100) N příčně 400 (± 100) N
odolnost proti stékání při zvýšené teplotě	EN 1110	≥ 90 °C	100 °C
ohebnost za nízkých teplot	EN 1109	≤ -15 °C	-25 °C
trvanlivost – odolnost proti stékání při zvýšené teplotě po umělém stárnutí	EN 1296, EN 1110	-	95 (-0, +5) °C
trvanlivost – ohebnost za nízkých teplot po umělém stárnutí	EN 1296, EN 1109	-	-15 (-10, +0) °C
nebezpečné látky	REACH (1907/2006)	-	neobsahuje
množství asfaltové hmoty	ČSN 73 0605-1	≥ 2500 g/m ²	2800 g/m ²
Harmonizovaná technická specifikace: EN 13707:2004+A2:2009			

Hydroizolační pás ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR je určen pro hydroizolační vrstvy střech podle ČSN EN 13707. Měření faktoru difúzního odporu μ není pro takový pás požadováno. Při výpočtovém posouzení vlhkostního režimu skladeb střech doporučujeme použít hodnoty z ČSN 73 0540-3 nebo hodnotu 30 000.

PŘÍLOHA A.3 – GLASTEK 30 STICKER ULTRA

Vlastnost	Zkušební metoda	Požadavek ČSN 73 0605-1 Tabulka 7 Samolepicí asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Podkladní a mezivrstva vícevrstvých systémů a Tabulka 8 – Samolepicí pásy pro hydroizolaci spodní stavby proti zemní vlhkosti	Deklarovaná hodnota
délka	EN 1848-1	-	10,0m
šířka	EN 1848-1	-	1,0m
tloušťka	EN 1849-1	≥ 2,5 mm (± 5 %, max. 0,2 mm)	3,0 (± 0,2) mm
plošná hmotnost	EN 1849-1	-	3,7 (± 0,185) kg/m ²
zjevné vady	EN 1850-1	bez zjevných vad	bez zjevných vad
přírmost	EN 1848-1	vyhovuje	vyhovuje
reakce na oheň	EN 13501-1	-	třída E
vodotěsnost	EN 1928	≥ 60 kPa	vyhovuje
tahové vlastnosti – největší tahová síla	EN 12311-1	≥ 800 N/50 mm	podélně 1000 (± 200) N/50 mm příčně 1100 (± 200) N/50 mm
tahové vlastnosti – tažnost	EN 12311-1	≥ 2 %	podélně 4 (± 2) % příčně 4 (± 2) %
odolnost proti nárazu (metoda A)	EN 12691	-	600 mm
odolnost proti statickému zatížení	EN 12730	-	5 kg
odolnost proti protrhávání (dřík hřebíku)	EN 12310-1	-	podélně 400 (± 100) N příčně 300 (± 100) N
pevnost spoje – smyková odolnost ve spoji	EN 12317-1	-	podélně 1100 (± 200) N/50 mm příčně 1000 (± 200) N/50 mm
odolnost proti stékání při zvýšené teplotě	EN 1110	≥ 90 °C	90 °C
ohebnost za nízkých teplot	EN 1109	≤ -15 °C	-20 °C
propustnost vodní páry – faktor difúzního odporu μ* – ekvivalentní difúzní tloušťka sd	EN 1931	-	29000 (± 1000) 87 (± 6 m) m
trvanlivost – propustnost vodní páry po umělém stárnutí	EN 1296, EN 1931	-	vyhovuje
trvanlivost – propustnost vodní páry po vlivu chemikálií	EN 1847, EN 1931	-	NPD
trvanlivost – vodotěsnost po umělém stárnutí	EN 1296, EN 1928	-	vyhovuje
trvanlivost – vodotěsnost po vlivu chemikálií	EN 1847, EN 1928	-	NPD
nebezpečné látky	REACH (1907/2006)	-	neobsahuje
množství asfaltové hmoty	ČSN 73 0605-1	≥ 1500 g/m ²	1800 g/m ²
Harmonizovaná technická specifikace: EN 13707:2004+A2:2009, EN 13969:2004/A1:2006 a EN 13970:2004/A1:2006			

- * Uvedené hodnoty faktoru difúzního odporu vychází z měření a požadavků výrobních norem a slouží k porovnání jednotlivých výrobků mezi sebou. Při výpočtovém posouzení vlhkostního režimu skladeb střech nebo obvodových stěn je třeba použít hodnoty, které vyjadřují skutečné difúzní účinky vrstvy vytvořené z výrobku v konkrétním konstrukčním a technologickém řešení a podmínkách zabudování.

PŘÍLOHA A.4 – ALKORBRIGHT 35276

Parametr	Zkušební předpis	Hodnota	Jednotka
tloušťka fólie	EN 1849-1	1,5	mm
šířka role	EN 1848-2	1,05	m
délka role	EN 1848-2	20	m
plošná hmotnost	EN 1849-1	1,85	kg/m ²
chování při vnějším požáru	EN 13501-5	B _{ROOF} (t1)	třída
reakce na oheň	EN 13501-1	E	třída
vodotěsnost	EN 1928	vyhovuje	-
největší tahová síla - v podélném směru - v příčném směru	EN 12311-2 metoda A	1000 1000	N/50 mm N/50 mm
tažnost - v podélném směru - v příčném směru	EN 12311-2 metoda A	15 15	% %
odolnost proti statickému zatížení	EN 12730	20	kg
odolnost proti protrhávání podélně příčně	EN 12310-2 EN 12310-2	180 180	N N
odolnost proti nárazu	EN 12 691	300	mm
odolnost proti odlupování ve spoji	EN 12316-2	150	N/50 mm
rozměrová stálost	EN 1107-2	0,3	%
ohebnost za nízkých teplot	EN 495-5	-25	°C
faktor difúzního odporu (μ)	EN 1931	15000	-
solární odrazivost SR	-	až 90 % (CIGS 97 %)	%

PŘÍLOHA A.5 – TOPDEK AL BARRIER

Vlastnost	Zkušební metoda	Deklarovaná hodnota
délka	EN 1848-1	7,5 m
šířka	EN 1848-1	1,0 m
tloušťka	EN 1849-1	2,2 ($\pm 0,2$) mm
plošná hmotnost	EN 1849-1	2,3 ($\pm 0,2$) kg/m ²
zjevné vady	EN 1850-1	bez zjevných vad
přímost	EN 1848-1	vyhovuje
reakce na oheň	EN 13501-1	třída E
vodotěsnost	EN 1928	vyhovuje
tahové vlastnosti – největší tahová síla	EN 12311-1	podélně 700 (± 100) N/50 mm příčně 350 (± 100) N/50 mm
tahové vlastnosti – tažnost	EN 12311-1	podélně 35 (± 5) % příčně 30 (± 5) %
odolnost proti nárazu (metoda A)	EN 12691	500 mm
odolnost proti protrhávání (dřík hřebíku)	EN 12310-1	podélně 150 (± 100) N příčně 200 (± 100) N
pevnost spoje – smyková odolnost ve spoji	EN 12317-1	podélně 400 (± 100) N/50 mm příčně 300 (± 100) N/50 mm
odolnost proti stékání při zvýšené teplotě	EN 1110	70 °C
ohebnost za nízkých teplot	EN 1109	-20 °C
propustnost vodní páry * – faktor difúzního odporu μ – ekvivalentní difúzní tloušťka s_d	EN 1931	280 000 ($\pm 20 000$) 616 (± 56) m
trvanlivost – propustnost vodní páry po umělém stárnutí	EN 1296 EN 1931	vyhovuje
trvanlivost – propustnost vodní páry po vlivu chemikálií	EN 1847 EN 1931	NPD
nebezpečné látky	REACH (1907/2006)	neobsahuje
Harmonizovaná technická specifikace: EN 13707:2004+A2:2009 a EN 13970:2004/A1:2006		

- * Uvedené hodnoty faktoru difúzního odporu vychází z měření a požadavků výrobních norem a slouží k porovnání jednotlivých výrobků mezi sebou. Při výpočtovém posouzení vlhkostního režimu skladeb střech nebo obvodových stěn je třeba použít hodnoty, které vyjadřují skutečné difúzní účinky vrstvy vytvořené z výrobku v konkrétním konstrukčním a technologickém řešení a podmínkách zabudování.

PŘÍLOHA A.6 – EPS 100

Označení	Jednotka	Metodika	Hodnota	Kód značení
Geometrické vlastnosti				
Tolerance délky				L3
Tolerance šířky	[%; mm]	ČSN EN 822	±3 mm	Třída tolerance délky
Tolerance tloušťky	[%; mm]	ČSN EN 822	±3 mm	Třída tolerance šířky
Odchylka od pravouhlosti ve směru délky a šířky S_b	[%; mm]	ČSN EN 823	±2 mm	Třída tolerance tloušťky
Odchylka od rovinnosti S_{max}	[mm·m ⁻¹]	ČSN EN 824	±5	Třída pravouhlosti
	[mm]	ČSN EN 825	10	Třída rovinnosti
Relativní změna délky $\Delta\epsilon_s$, šířky $\Delta\epsilon_b$, tloušťky $\Delta\epsilon_d$	[%]	ČSN EN 1604	0,2	Třída rozměrové stability za konstantních laboratorních podmínek
			1	Úroveň rozměrové stability za určených tepotních a vlhkostních podmínek
Tepelné technické vlastnosti				
Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti λ_D ¹⁾	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Deklarace dle ČSN EN 13163+A1	0,037	
Návrhový součinitel tepelné vodivosti λ_D ²⁾	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měření dle ČSN EN 12667	0,037	
Měrná tepelná kapacita c_f	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	ČSN 73 0540-3	1270	
Mechanické vlastnosti				
Napětí v tlaku při 10% deformaci σ_{10}	[kPa]	ČSN EN 826	100	Úroveň napětí v tlaku při 10% deformaci
Trvalá zatížitelnost - napětí v tlaku při 2% deformaci pro dlouhodobé zatížení tlakem ³⁾	[kPa]		20	
Pevnost v tahu kolmo k rovině desky σ_{nt}	[kPa]	ČSN EN 1607	100	Úroveň pevnosti v tahu kolmo k rovině desky
Pevnost v ohybu σ_y	[kPa]	ČSN EN 12089	150	Úroveň pevnosti v ohybu
Protipožární vlastnosti				
Třída reakce na oheň	[-]	ČSN EN 13501-1+A1	E**	
Nejvyšší provozní teplota	[°C]		80	
Vlhkostní vlastnosti				
Dlouhodobá nasákavost při úplném ponoření W_t	[%]	ČSN EN 12087	5	Úroveň dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření
Faktor difuzního odporu μ	[-]	ČSN EN 13163+A1	30-70	
Ostatní vlastnosti				
Objemová hmotnost	[kg·m ⁻³]	ČSN EN 1602	18-20***	

¹⁾ Deklarované hodnoty stanoveny ze souboru podmínek λ (referenční teplota 10 °C, vlhkost u_{xy} dosažená sušením) dle ČSN EN ISO 10456.

²⁾ Platí pro typické použití v konstrukcích s možným rizikem kondenzace. V případě konstrukce bez možného rizika kondenzace vlhkosti je možné použít deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti.

³⁾ Pro zatížení menší možno deformaci lineárně interpolovat k nule.

PŘÍLOHA A.7 – TOPDEK 022 PIR

Označení výrobku			TOPDEK 022 PIR		
Parametry dle ČSN EN 13165			Třída/Úroveň	Hodnota	Jednotka
tolerance tloušťky	jmenovitá tloušťka	–	T2	–	mm
		> 75 mm		+5, –3	
rozměrová stabilita za určených podmínek teploty a vlhkosti (48 h, 70 °C, 90% relativní vlhkost)	relativní změny	délky $\Delta \varepsilon_l$	DS (70,90)3	≤ 2	%
		šířky $\Delta \varepsilon_b$		≤ 2	
		tloušťky $\Delta \varepsilon_d$		≤ 6	
		délky $\Delta \varepsilon_l$		≤ 1	
rozměrová stabilita za určených podmínek teploty a vlhkosti (48 h, –20 °C)	relativní změny	šířky $\Delta \varepsilon_b$	DS (–20,–)1	≤ 1	%
		tloušťky $\Delta \varepsilon_d$		≤ 2	
deformace při určeném napětí v tlaku a teplotních podmínkách			DLT(2)5	≤ 5	%
napětí v tlaku při 10 % stlačení	jmenovitá tloušťka	≤ 80 mm	CS(10\Y)150	≥ 150	kPa
		> 80 mm	CS(10\Y)120	≥ 120	kPa
pevnost v tahu kolmo k rovině desky			TR40	≥ 40	kPa
deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti				0,022	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
tepelný odpor	jmenovitá tloušťka	100 mm		4,5	m ² .K.W ⁻¹
Další parametry				Hodnota	Jednotka
reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 výrobku uváděného na trh				E	–
reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 při zkoušce v aplikaci*				B – s2, d0	–
faktor difúzního odporu tepelněizolačního jádra dle ČSN EN ISO 10456:2009				60	–

* Při zkoušce byl izolant umístěn na standardním podkladu z ocelového plechu dle ČSN EN 13238.

PŘÍLOHA A.8 – FILTEK 300

Parametr	Zkušební norma	FILTEK 160	FILTEK 170	FILTEK 200	FILTEK 250	FILTEK 300	FILTEK 350	FILTEK 400
plošná hmotnost	EN ISO 9864	150 g/m ²	170 g/m ²	200 g/m ²	250 g/m ²	300 g/m ²	350 g/m ²	400 g/m ²
šířka role	-	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m
pevnost v tahu – v podélném směru – v příčném směru	EN ISO 10319	3,4 kN/m (-0,4 kN/m) 9,5 kN/m (-1,0 kN/m)	4,5 kN/m (-0,8 kN/m) 10,5 kN/m (-1,5 kN/m)	12,0 kN/m (-1,0 kN/m) 7,5 kN/m (-1,0 kN/m)	7,0 kN/m (-1,5 kN/m) 18,0 kN/m (-2,5 kN/m)	20 kN/m (-2 kN/m) 11,5 kN/m (-1,0 kN/m)	10,5 kN/m (-1,5 kN/m) 24 kN/m (-4 kN/m)	27 kN/m (-2 kN/m) 16 kN/m (-1 kN/m)
tažnost – v podélném směru – v příčném směru	EN ISO 10319	110 % (±35 %) 80 % (±20 %)	110 % (±35 %) 80 % (±20 %)	70 % (±20 %) 115 % (±25 %)	115 % (±25 %) 70 % (±20 %)	70 % (±20 %) 115 % (±25 %)	115 % (±25 %) 70 % (±20 %)	70 % (±20 %) 110 % (±25 %)
odolnost proti dynamickému protřetí	EN ISO 13433	19 mm (+8 mm)	19 mm (+5 mm)	14 mm (+2 mm)	16 mm (+4 mm)	10 mm (+3 mm)	9 mm (+2 mm)	7 mm (+2 mm)
odolnost proti statickému protřetí	EN ISO 12236	850 N (-150 N)	1000 N (-150 N)	1400 N (-200 N)	1700 N (-250 N)	2300 N (-300 N)	2400 N (-200 N)	3000 N (-300 N)
velikost otvorů	EN ISO 12956	110 μm (±25 μm)	110 μm (±25 μm)	115 μm (±25 μm)	96 μm (±20 μm)	95 μm (±20 μm)	95 μm (±19 μm)	80 μm (±16 μm)
propustnost vody kolmo k rovině	EN ISO 11058	7,8 · 10 ⁻⁹ m/s (-0,8 · 10 ⁻² m/s)	7,8 · 10 ⁻⁹ m/s (-0,8 · 10 ⁻² m/s)	6,5 · 10 ⁻⁹ m/s (-0,8 · 10 ⁻² m/s)	7 · 10 ⁻⁹ m/s (-1 · 10 ⁻² m/s)	5,2 · 10 ⁻⁹ m/s (-0,5 · 10 ⁻² m/s)	7 · 10 ⁻⁹ m/s (-1 · 10 ⁻² m/s)	4,5 · 10 ⁻⁹ m/s (-0,8 · 10 ⁻² m/s)
propustnost vody v rovině při 200 kPa, Gradient ±1	EN ISO 12958	-	-	-	-	-	-	podélně 2,5 · 10 ⁻³ l/m · s (-0,3 · 10 ⁻³ l/m · s)
základní vlastnosti geotextilie	-	– zakrýt v den položení – pro použití, které neslouží k vyztužování přírodních zemin s pH v rozmezí 4 až 9 a teplotami zeminy menší než 25 °C						
materiálové složení	-	100 % polypropylen						

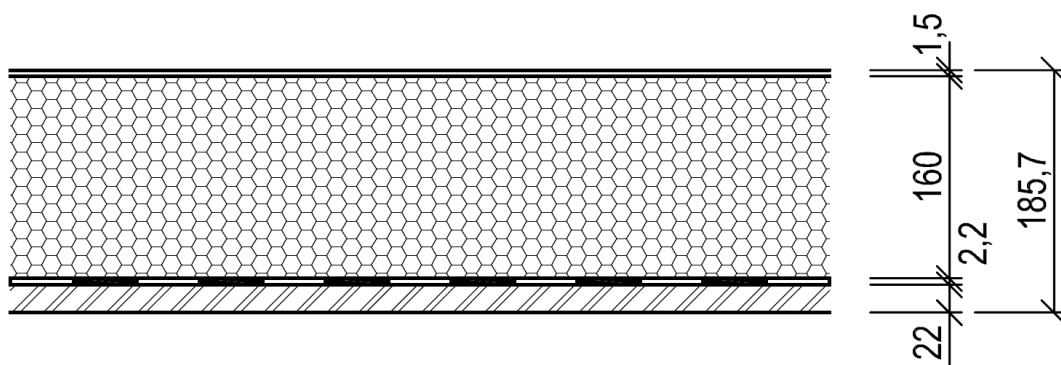
PŘÍLOHA B – SKLADBY VÝPOČETNÍCH KONSTRUKCÍ

PŘÍLOHA B.1 – SKLADBA S01

Ozn.	Popis	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [-]
1	ALKORBRIGHT 35276	1,5	0,160	1400	960	15000
2	TOPDEK 022 PIR	160	0,022	32	1400	60
3	TOPDEK AL BARRIER	2,2	0,210	1400	1470	280000
4	OSB/3	22	0,150	630	1580	200

Tepelně technické vlastnosti skladby S01

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně IN	R_{si}	0,10	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při prostupu tepla konstrukcí	ΣR_i	7,44	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně EX	R_{se}	0,04	m ² K·W ⁻¹
Součinitel prostupu tepla	U	0,132	W·m⁻²·K⁻¹
Požadovaná hodnota prostupu tepla	$U_{N,20}$	0,24	W·m ⁻² ·K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla	$U_{rec,20}$	0,16	W·m ⁻² ·K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla pro pasivní domy	$U_{pas,20}$	0,10– 0,15	W·m ⁻² ·K ⁻¹

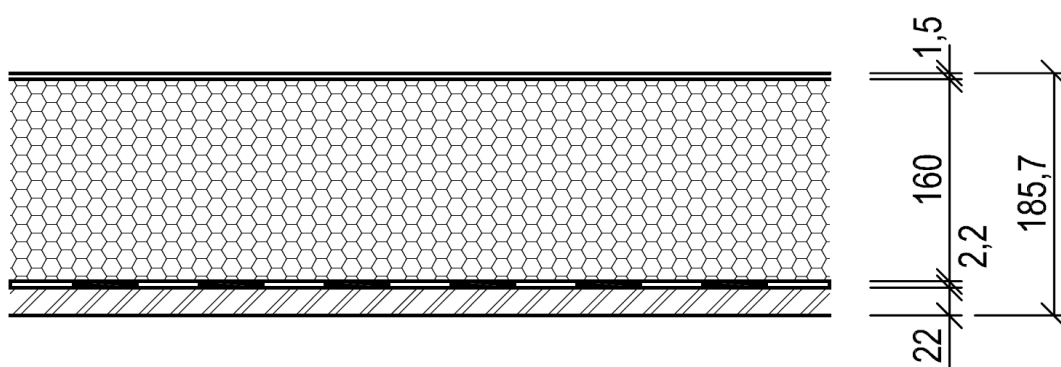


PŘÍLOHA B.2 – SKLADBA S02

Ozn.	Popis	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [-]
1	DEKPLAN 76	1,5	0,160	1400	960	15000
2	TOPDEK 022 PIR	160	0,022	32	1400	60
3	TOPDEK AL BARRIER	2,2	0,210	1400	1470	280000
4	OSB/3	22	0,150	630	1580	200

Tepelně technické vlastnosti skladby S02

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně IN	R_{si}	0,10	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při prostupu tepla konstrukcí	ΣR_i	7,44	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně EX	R_{se}	0,04	m ² K·W ⁻¹
Součinitel prostupu tepla	U	0,132	W·m⁻²K⁻¹
Požadovaná hodnota prostupu tepla	$U_{N,20}$	0,24	W·m ⁻² K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla	$U_{rec,20}$	0,16	W·m ⁻² K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla pro pasivní domy	$U_{pas,20}$	0,10– 0,15	W·m ⁻² K ⁻¹

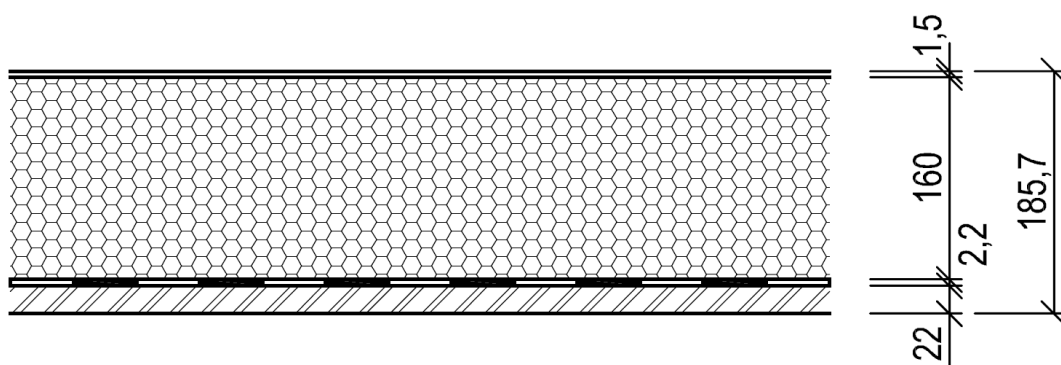


PŘÍLOHA B.3 – SKLADBA S03

Ozn.	Popis	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [-]
1	DEKPLAN 76 + asfaltový nátěr	1,5	0,160	1400	960	17000
2	TOPDEK 022 PIR	160	0,022	32	1400	60
3	TOPDEK AL BARRIER	2,2	0,210	1400	1470	280000
4	OSB/3	22	0,150	630	1580	200

Tepelně technické vlastnosti skladby S03

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně IN	R_{si}	0,10	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při prostupu tepla konstrukcí	ΣR_i	7,439	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně EX	R_{se}	0,04	m ² K·W ⁻¹
Součinitel prostupu tepla	U	0,132	W·m⁻²K⁻¹
Požadovaná hodnota prostupu tepla	$U_{N,20}$	0,24	W·m ⁻² K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla	$U_{rec,20}$	0,16	W·m ⁻² K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla pro pasivní domy	$U_{pas,20}$	0,10– 0,15	W·m ⁻² K ⁻¹

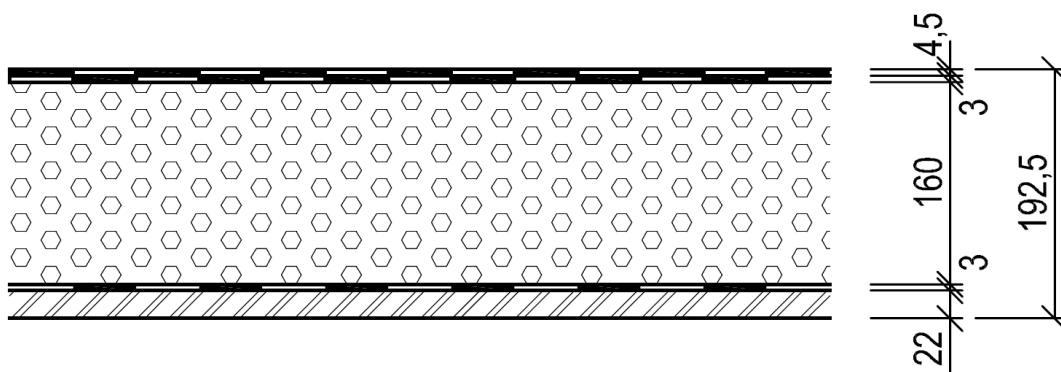


PŘÍLOHA B.4 – SKLADBA S04

Ozn.	Popis	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [-]
1	ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR	1,5	0,160	1400	1470	30000
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA	3	0,210	1400	1470	29000
3	EPS 100	160	0,022	20	1270	25
4	GLASTEK 30 STICKER ULTRA	3	0,210	1400	1470	29000
5	OSB/3	22	0,150	630	1580	200

Tepelně technické vlastnosti skladby S04

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně IN	R_{si}	0,10	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při prostupu tepla konstrukcí	ΣR_i	4,407	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně EX	R_{se}	0,04	m ² K·W ⁻¹
Součinitel prostupu tepla	U	0,220	W·m⁻²K⁻¹
Požadovaná hodnota prostupu tepla	$U_{N,20}$	0,24	W·m ⁻² K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla	$U_{rec,20}$	0,16	W·m ⁻² K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla pro pasivní domy	$U_{pas,20}$	0,10– 0,15	W·m ⁻² K ⁻¹

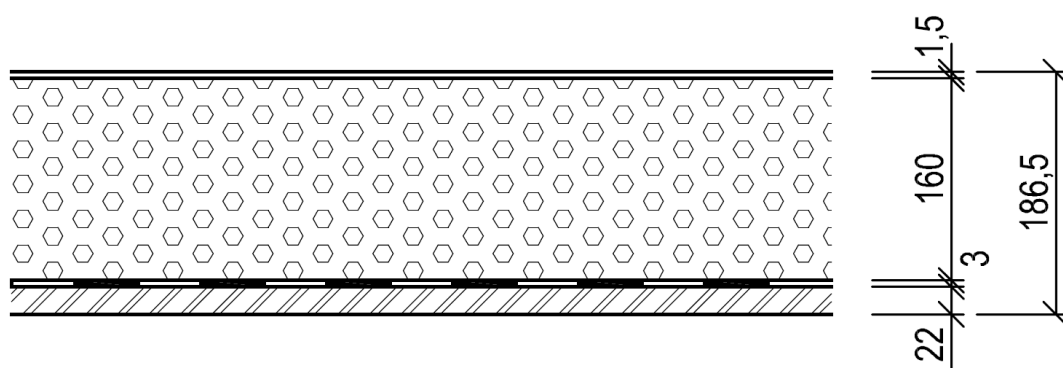


PŘÍLOHA B.5 – SKLADBA S05

Ozn.	Popis	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [-]
1	DEKPLAN 76	1,5	0,160	1400	960	15000
2	FILTEK 300	-	-	-	-	-
3	EPS 100	160	0,022	20	1270	25
4	GLASTEK 30 STICKER ULTRA	3	0,210	1400	1470	29000
5	OSB/3	22	0,150	630	1580	200

Tepelně technické vlastnosti skladby S05

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně IN	R_{si}	0,10	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při prostupu tepla konstrukcí	ΣR_i	4,381	m ² K·W ⁻¹
Tepelný odpor při přestupu tepla na straně EX	R_{se}	0,04	m ² K·W ⁻¹
Součinitel prostupu tepla	U	0,221	W·m⁻²·K⁻¹
Požadovaná hodnota prostupu tepla	$U_{N,20}$	0,24	W·m ⁻² ·K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla	$U_{rec,20}$	0,16	W·m ⁻² ·K ⁻¹
Doporučená hodnota prostupu tepla pro pasivní domy	$U_{pas,20}$	0,10– 0,15	W·m ⁻² ·K ⁻¹



PŘÍLOHA B.6 – SPEKTRÁLNÍ VLASTNOSTI POVRCHOVÝCH ÚPRAV SKLADEB

Povrchová úprava	α [-]	ε [-]
ALKORBRIGHT 35276	0,25	0,90
DEKPLAN 76	0,65	0,93
DEKPLAN 76 + asfaltový nátěr	0,93	0,96
ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR	0,93	0,96

PŘÍLOHA C – SOUHRN DAT Z EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Vzhledem k velkému množství naměřených dat, byly tyto data převedeny do průměrných denních hodnot.

PŘÍLOHA C.1 – DATA PLOCHÝCH STŘECH OD 3.3-15.4.

Datum	S01		S02		S03	
	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH
03.03.2017	2.80	85.67	4.96	71.34	6.01	63.57
04.03.2017	8.48	86.12	11.42	71.93	12.93	64.41
05.03.2017	9.09	85.64	11.90	71.14	13.57	64.53
06.03.2017	3.02	84.98	5.27	70.65	6.73	64.39
07.03.2017	4.40	85.38	6.81	71.63	8.13	65.38
08.03.2017	2.51	84.86	7.68	70.00	10.40	62.69
09.03.2017	5.30	85.49	8.15	70.11	10.21	63.00
10.03.2017	4.58	85.64	6.66	71.34	7.85	65.51
11.03.2017	4.41	85.49	8.49	70.94	10.32	64.74
12.03.2017	3.48	85.44	6.11	70.63	7.53	64.47
13.03.2017	3.01	85.09	7.95	69.01	10.70	62.34
14.03.2017	3.92	85.10	7.49	67.39	9.51	61.01
15.03.2017	5.85	85.19	7.87	67.86	9.22	63.12
16.03.2017	3.97	84.68	7.92	66.89	10.79	62.24
17.03.2017	6.74	84.48	11.59	64.81	13.69	61.04
18.03.2017	7.42	84.97	8.72	66.54	9.28	64.86
19.03.2017	5.89	84.88	8.77	68.15	10.35	66.28
20.03.2017	10.82	84.79	14.03	67.68	16.12	64.75
21.03.2017	9.22	84.36	13.00	66.27	15.31	63.17
22.03.2017	7.35	84.59	8.62	67.52	9.39	65.77
23.03.2017	5.84	84.74	7.99	68.78	9.15	67.44
24.03.2017	8.69	84.81	11.28	68.74	12.88	66.71
25.03.2017	5.16	84.04	10.37	65.46	13.19	62.31
26.03.2017	4.16	83.69	9.88	63.14	13.23	60.14
27.03.2017	4.43	83.27	11.44	59.84	14.65	57.51
28.03.2017	7.49	82.74	13.53	56.76	16.49	56.86
29.03.2017	10.88	82.33	15.64	56.11	18.48	58.25
30.03.2017	14.43	82.10	17.77	57.77	20.04	60.37
31.03.2017	10.53	81.09	15.41	56.25	17.90	59.84
01.04.2017	11.81	80.78	16.11	55.62	18.06	60.74
02.04.2017	12.05	79.68	18.42	53.22	21.77	57.77
03.04.2017	13.11	79.21	17.55	52.79	20.40	57.63
04.04.2017	12.91	79.45	17.93	53.34	21.16	57.80
05.04.2017	11.93	80.26	15.03	55.66	17.19	60.56
06.04.2017	7.73	81.05	10.20	57.78	11.76	63.46
07.04.2017	7.79	82.18	9.49	60.62	10.63	66.39
08.04.2017	11.89	82.38	14.43	61.35	16.24	65.94
09.04.2017	10.78	80.74	16.57	56.30	19.75	59.50
10.04.2017	11.21	79.35	17.72	51.62	20.94	55.32
11.04.2017	9.64	79.93	13.65	53.92	16.09	58.93
12.04.2017	9.52	80.77	13.25	56.11	15.22	60.82
13.04.2017	9.04	81.41	11.56	57.58	12.90	62.48
14.04.2017	9.26	81.31	14.00	57.41	17.05	60.67
15.04.2017	8.56	81.75	11.39	57.87	12.82	61.73

PŘÍLOHA C.2 – DATA PLOCHÝCH STŘECH OD 16.4-1.6.

16.04.2017	7.23	81.46	11.87	57.48	14.84	61.04
17.04.2017	3.92	81.79	7.94	57.32	9.91	60.29
18.04.2017	6.42	82.20	11.64	58.06	14.77	59.77
19.04.2017	1.83	82.94	3.23	59.63	3.81	62.85
20.04.2017	1.18	83.24	3.65	62.27	5.09	66.36
21.04.2017	4.55	82.93	10.74	59.07	14.78	59.76
22.04.2017	8.35	83.16	11.08	57.89	12.98	59.58
23.04.2017	6.29	82.70	11.29	57.90	14.62	59.24
24.04.2017	7.52	81.69	14.35	54.28	17.72	55.21
25.04.2017	7.54	81.65	11.45	54.28	13.55	56.57
26.04.2017	8.74	82.32	10.41	57.67	11.40	60.52
27.04.2017	6.72	82.78	8.80	60.39	10.13	63.08
28.04.2017	4.67	83.36	5.88	62.61	6.57	65.39
29.04.2017	7.30	82.65	14.08	58.88	17.83	58.79
30.04.2017	10.55	81.61	18.24	53.09	22.97	52.46
01.05.2017	12.68	81.04	18.46	51.29	21.42	52.59
02.05.2017	11.58	80.30	16.85	50.80	20.41	51.86
03.05.2017	12.01	79.31	17.38	48.91	20.51	49.94
04.05.2017	15.17	78.64	20.34	48.95	23.06	49.95
05.05.2017	14.67	78.45	19.57	49.48	22.27	50.47
06.05.2017	17.09	77.47	24.07	47.65	28.44	47.68
07.05.2017	14.56	77.32	20.09	47.41	23.84	47.77
08.05.2017	13.96	77.06	21.37	46.30	27.44	45.86
09.05.2017	7.93	78.14	12.09	48.84	15.01	50.01
10.05.2017	6.85	78.18	14.76	46.70	18.63	47.07
11.05.2017	12.48	77.25	21.07	43.44	25.94	43.68
12.05.2017	17.84	76.40	23.77	43.84	27.06	44.20
13.05.2017	17.35	75.41	23.79	43.61	27.89	43.61
14.05.2017	16.08	75.30	22.58	43.62	26.24	43.60
15.05.2017	15.80	76.23	20.03	46.22	23.00	46.35
16.05.2017	17.70	75.87	24.24	44.89	28.96	43.70
17.05.2017	19.10	73.97	26.98	41.29	31.54	40.55
18.05.2017	17.49	72.70	24.36	40.01	28.66	40.78
19.05.2017	19.59	71.91	26.44	39.59	30.38	40.50
20.05.2017	14.44	74.58	15.42	45.11	16.37	48.12
21.05.2017	19.39	74.33	25.26	43.74	30.21	43.60
22.05.2017	18.56	72.76	26.07	40.52	31.80	39.64
23.05.2017	20.31	71.38	27.16	39.11	31.38	38.84
24.05.2017	15.20	72.18	19.93	41.05	23.21	41.33
25.05.2017	13.13	73.90	16.18	43.77	18.36	44.33
26.05.2017	19.76	72.17	27.51	40.15	32.70	38.57
27.05.2017	19.96	69.53	27.32	36.63	32.26	35.56
28.05.2017	19.15	67.46	27.62	34.15	32.38	33.59
29.05.2017	21.74	65.73	29.75	33.03	34.35	32.73
30.05.2017	25.47	63.70	32.70	31.78	36.72	31.92
31.05.2017	23.84	64.21	30.89	33.34	35.61	32.98
01.06.2017	21.88	65.79	29.62	33.83	34.77	32.23

PŘÍLOHA C.3 – DATA PLOCHÝCH STŘECH OD 2.6-18.7.

02.06.2017	27.03	63.75	40.60	29.73	48.45	27.19
03.06.2017	36.90	60.00	55.60	24.50	66.50	20.60
04.06.2017	36.90	60.00	55.60	24.50	66.50	20.60
05.06.2017	31.04	61.03	45.02	26.54	53.22	23.99
06.06.2017	23.96	62.94	29.89	31.71	32.76	31.70
07.06.2017	17.07	64.77	23.76	35.21	27.46	34.27
08.06.2017	16.99	65.20	25.64	32.04	31.08	30.44
09.06.2017	25.56	58.94	28.75	29.39	31.16	29.56
10.06.2017	23.68	57.15	25.48	33.55	26.36	31.46
11.06.2017	30.42	53.27	32.09	32.48	32.77	30.85
12.06.2017	29.64	50.69	29.66	29.96	29.86	31.96
13.06.2017	28.18	50.98	30.79	28.20	31.73	31.04
14.06.2017	26.61	50.41	28.98	27.24	29.71	30.76
15.06.2017	28.93	48.51	28.74	27.95	29.32	31.15
16.06.2017	24.14	48.78	24.01	31.80	24.44	32.60
17.06.2017	18.32	54.87	19.12	39.68	19.51	37.28
18.06.2017	25.27	55.54	27.23	37.92	28.05	37.81
19.06.2017	32.54	48.15	33.57	31.63	34.23	38.36
20.06.2017	35.32	43.67	35.91	27.64	36.53	39.58
21.06.2017	32.49	44.70	34.46	26.18	35.04	40.67
22.06.2017	35.36	43.46	36.34	25.79	36.63	39.99
23.06.2017	28.19	48.72	30.52	29.37	30.93	43.13
24.06.2017	31.17	46.59	33.71	28.41	34.22	43.56
25.06.2017	29.00	46.05	30.75	27.44	30.76	46.58
26.06.2017	25.53	49.50	31.52	28.35	34.19	43.57
27.06.2017	23.96	51.63	29.84	29.37	32.56	40.90
28.06.2017	27.09	49.79	33.69	27.46	36.31	36.54
29.06.2017	21.79	50.68	25.94	29.23	27.75	39.39
30.06.2017	20.87	53.48	25.61	31.06	27.66	40.16
01.07.2017	19.45	54.21	24.40	30.74	27.03	38.54
02.07.2017	18.10	55.77	21.65	32.94	23.79	41.38
03.07.2017	20.37	55.46	26.51	31.74	29.77	37.90
04.07.2017	19.09	55.50	24.05	31.44	26.85	37.09
05.07.2017	24.29	53.58	31.18	28.89	34.54	33.37
06.07.2017	23.84	51.89	30.97	27.45	34.80	31.28
07.07.2017	20.87	52.83	25.43	28.69	27.38	32.51
08.07.2017	25.14	51.90	32.30	27.34	36.28	29.34
09.07.2017	25.67	51.19	32.57	26.62	36.13	28.57
10.07.2017	24.70	51.57	29.73	27.36	31.63	29.44
11.07.2017	23.72	52.26	29.11	28.19	31.79	29.50
12.07.2017	22.71	52.63	28.78	27.68	31.58	29.14
13.07.2017	18.74	54.24	24.76	28.73	28.21	30.34
14.07.2017	17.91	54.58	25.18	27.74	29.03	27.94
15.07.2017	14.56	55.94	18.42	29.17	20.18	29.89
16.07.2017	19.81	55.54	28.00	27.87	32.55	26.69
17.07.2017	21.31	54.17	27.76	26.53	31.37	25.79
18.07.2017	24.51	52.11	31.74	25.34	35.46	24.38

PŘÍLOHA C.4 – DATA PLOCHÝCH STŘECH OD 19.7-23.8.

19.07.2017	24.35	51.05	31.07	24.83	34.06	24.21
20.07.2017	26.30	50.16	32.97	24.33	36.32	23.29
21.07.2017	24.77	50.73	31.49	25.09	35.25	23.39
22.07.2017	24.96	51.27	30.98	25.17	33.97	22.81
23.07.2017	23.54	52.55	29.35	26.29	32.94	23.38
24.07.2017	18.21	55.77	20.16	29.77	21.19	27.44
25.07.2017	18.16	57.81	22.69	31.71	25.28	28.57
26.07.2017	16.70	59.14	20.46	32.81	21.95	30.33
27.07.2017	17.28	61.56	20.17	35.45	21.82	32.73
28.07.2017	22.36	60.29	28.01	33.55	30.92	29.84
29.07.2017	21.59	57.72	28.99	29.73	32.69	26.00
30.07.2017	25.03	55.52	31.72	27.59	34.64	24.07
31.07.2017	27.78	53.00	34.78	25.95	38.31	22.54
01.08.2017	27.74	51.97	33.34	25.52	35.68	22.50
02.08.2017	27.63	52.26	32.86	26.18	36.20	22.69
03.08.2017	28.03	51.22	34.41	24.90	37.40	21.31
04.08.2017	23.59	53.35	26.50	27.68	28.40	23.88
05.08.2017	28.53	52.07	35.65	26.03	39.65	21.09
06.08.2017	19.17	54.74	20.74	28.78	21.49	24.88
07.08.2017	21.73	55.06	28.27	28.02	31.67	22.56
08.08.2017	21.16	54.92	26.21	27.15	27.99	21.94
09.08.2017	25.78	53.39	31.50	26.30	34.52	20.73
10.08.2017	25.42	52.76	30.24	27.07	32.84	21.84
11.08.2017	23.15	53.72	27.87	28.74	30.01	23.36
12.08.2017	19.13	55.50	24.09	29.83	26.85	23.83
13.08.2017	19.29	55.81	24.71	29.08	27.77	23.10
14.08.2017	21.34	54.72	27.52	27.31	31.04	20.99
15.08.2017	21.98	53.72	27.73	26.26	30.56	20.47
16.08.2017	21.80	53.83	26.68	26.69	29.57	20.63
17.08.2017	24.59	53.14	30.93	25.92	34.51	19.37
18.08.2017	24.97	52.21	30.96	25.03	34.88	18.54
19.08.2017	18.76	54.98	20.46	28.23	21.27	22.18
20.08.2017	18.25	57.00	21.91	30.39	23.89	23.37
21.08.2017	15.91	57.39	21.21	29.84	24.09	22.98
22.08.2017	18.77	51.71	19.61	29.69	22.28	24.06
23.08.2017	25.68	48.66	20.85	29.28	25.65	22.31

PŘÍLOHA C.5 – DATA PLOCHÝCH STŘECH AP OD 10.3.-20.4.

Datum	S04							
	MEZI OSB A EPS		MEZI EPS A HI		MEZI OSB A EPS		MEZI EPS A HI	
	PERFOROVANÉ		PERFOROVANÉ					
	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH
10.03.2017	20.25	59.15	7.88	97.33	20.28	56.14	8.08	99.14
11.03.2017	19.17	58.85	7.73	97.51	19.18	55.86	7.86	99.11
12.03.2017	18.99	58.20	7.15	97.34	19.02	54.88	7.30	99.03
13.03.2017	19.25	57.99	8.16	97.32	19.29	54.44	8.29	98.99
14.03.2017	19.17	58.30	8.05	97.21	19.17	54.49	8.22	98.93
15.03.2017	19.35	59.72	9.03	97.18	19.37	56.12	9.17	98.90
16.03.2017	19.41	59.35	9.19	97.08	19.43	55.35	9.33	98.85
17.03.2017	19.54	60.22	10.09	97.09	19.54	56.26	10.22	98.84
18.03.2017	19.31	62.47	9.82	96.93	19.22	59.66	9.97	98.81
19.03.2017	19.21	59.03	8.97	96.75	19.10	55.18	9.09	98.67
20.03.2017	19.61	62.80	11.77	96.89	19.53	60.03	11.83	98.74
21.03.2017	19.79	63.61	11.75	96.77	19.73	60.49	11.81	98.70
22.03.2017	19.65	62.76	10.29	96.49	19.55	59.44	10.46	98.58
23.03.2017	19.53	57.13	9.32	96.34	19.41	52.99	9.46	98.40
24.03.2017	19.51	59.11	10.30	96.35	19.45	55.20	10.41	98.35
25.03.2017	19.24	59.20	10.10	96.27	19.16	54.48	10.19	98.28
26.03.2017	19.00	59.62	9.88	96.20	18.91	54.23	9.98	98.21
27.03.2017	19.30	58.61	10.47	96.18	19.22	52.50	10.57	98.17
28.03.2017	19.70	62.41	12.41	96.29	19.63	57.03	12.53	98.30
29.03.2017	19.65	67.23	13.60	96.38	19.59	63.02	13.68	98.45
30.03.2017	19.89	72.17	15.11	96.47	19.86	69.72	15.17	98.57
31.03.2017	20.23	70.31	14.97	96.36	20.19	67.23	15.05	98.51
01.04.2017	20.29	71.48	15.42	96.36	20.25	68.16	15.51	98.54
02.04.2017	20.73	73.65	16.61	96.43	20.69	71.03	16.69	98.67
03.04.2017	21.16	74.16	16.53	96.42	21.16	71.13	16.62	98.82
04.04.2017	20.84	72.50	15.82	96.28	20.83	68.86	15.89	98.73
05.04.2017	20.29	70.76	14.51	96.11	20.27	67.06	14.60	98.61
06.04.2017	19.59	65.81	11.96	95.81	19.53	60.45	12.05	98.26
07.04.2017	19.53	60.09	10.85	95.64	19.47	53.02	10.95	97.88
08.04.2017	19.56	62.46	12.71	95.81	19.51	57.17	12.78	97.95
09.04.2017	19.76	67.12	14.36	95.95	19.73	62.64	14.46	98.21
10.04.2017	20.13	68.31	15.06	96.04	20.12	63.69	15.15	98.40
11.04.2017	20.17	69.12	13.69	95.85	20.13	64.91	13.80	98.45
12.04.2017	19.87	62.16	12.59	95.72	19.84	55.58	12.68	98.06
13.04.2017	19.48	65.20	12.87	95.70	19.48	60.29	12.99	98.13
14.04.2017	19.09	65.90	13.35	95.82	19.09	61.07	13.42	98.20
15.04.2017	19.42	62.18	12.01	95.62	19.44	56.63	12.14	98.08
16.04.2017	19.52	63.02	12.53	95.59	19.53	57.90	12.63	98.04
17.04.2017	19.33	57.22	10.02	95.30	19.36	49.76	10.19	97.76
18.04.2017	19.44	56.06	10.52	95.30	19.46	49.52	10.65	97.63
19.04.2017	19.05	50.92	7.24	94.87	19.08	42.99	7.46	97.25
20.04.2017	19.04	45.77	6.70	94.73	19.10	38.25	6.88	96.86

PŘÍLOHA C.6 – DATA PLOCHÝCH STŘECH AP OD 21.4.-6.6.

21.04.2017	19.12	47.33	8.85	95.00	19.17	40.05	8.96	97.07
22.04.2017	19.51	55.60	11.00	95.22	19.52	49.13	11.11	97.61
23.04.2017	19.48	54.31	10.54	95.20	19.49	47.43	10.64	97.58
24.04.2017	19.78	55.27	11.82	95.32	19.79	48.67	11.92	97.68
25.04.2017	19.59	56.99	11.55	95.36	19.51	50.98	11.67	97.86
26.04.2017	19.54	59.12	11.45	95.34	19.46	54.74	11.59	97.95
27.04.2017	19.47	53.53	9.92	95.13	19.38	48.58	10.05	97.65
28.04.2017	19.39	50.04	8.69	94.96	19.31	45.33	8.85	97.42
29.04.2017	19.61	51.25	11.04	95.19	19.52	47.22	11.13	97.57
30.04.2017	19.75	58.13	13.04	95.50	19.68	53.93	13.11	98.05
01.05.2017	19.71	62.25	13.84	95.72	19.66	58.03	13.91	98.35
02.05.2017	19.82	65.54	14.60	95.82	19.76	62.44	14.69	98.58
03.05.2017	19.85	65.08	14.39	95.87	19.80	61.57	14.50	98.67
04.05.2017	20.01	68.87	15.96	96.10	19.97	66.86	16.03	98.91
05.05.2017	20.42	69.82	16.13	96.17	20.41	67.98	16.22	99.09
06.05.2017	20.80	72.44	17.91	96.39	20.78	70.99	17.97	99.25
07.05.2017	21.07	75.34	17.70	96.51	21.04	74.20	17.78	99.63
08.05.2017	20.93	73.34	17.25	96.53	20.88	70.97	17.30	99.62
09.05.2017	20.41	68.50	13.82	96.22	20.34	63.62	13.96	99.47
10.05.2017	19.83	61.49	13.43	96.17	19.75	55.33	13.54	98.98
11.05.2017	20.05	67.06	16.19	96.52	20.00	62.62	16.28	99.29
12.05.2017	21.09	76.14	18.82	96.93	21.09	74.53	18.89	99.87
13.05.2017	21.66	78.65	19.35	97.04	21.63	77.50	19.44	99.90
14.05.2017	21.74	78.37	18.92	97.12	21.72	76.68	19.02	99.90
15.05.2017	21.82	76.46	18.39	97.15	21.79	74.24	18.47	99.90
16.05.2017	21.88	75.95	19.26	97.22	21.85	73.74	19.31	99.90
17.05.2017	22.46	81.45	21.25	97.55	22.44	80.12	21.28	99.90
18.05.2017	22.68	83.10	21.04	97.76	22.66	81.16	21.11	99.90
19.05.2017	23.04	85.14	21.97	98.02	23.03	83.43	22.02	99.90
20.05.2017	22.86	80.02	18.22	97.91	22.81	76.65	18.36	99.90
21.05.2017	22.61	77.53	20.52	97.95	22.59	72.70	20.49	99.90
22.05.2017	23.44	80.46	21.31	98.14	23.44	76.48	21.33	99.90
23.05.2017	22.84	83.89	22.25	98.23	22.87	80.81	22.30	99.90
24.05.2017	19.13	93.34	19.34	98.50	19.22	94.66	19.41	99.90
25.05.2017	19.11	90.65	17.38	98.47	19.15	89.60	17.45	99.90
26.05.2017	19.50	91.03	20.70	98.43	19.56	89.77	20.68	99.90
27.05.2017	19.69	94.61	22.22	98.59	19.78	95.45	22.23	99.90
28.05.2017	19.44	95.78	22.72	98.72	19.57	97.09	22.75	99.90
29.05.2017	19.48	96.29	23.58	98.83	19.63	97.64	23.60	99.90
30.05.2017	19.60	96.66	25.69	98.91	19.76	97.85	25.71	99.90
31.05.2017	21.79	96.90	24.91	99.12	21.86	98.29	24.90	99.90
01.06.2017	23.32	97.30	24.71	99.28	23.41	98.79	24.68	99.90
02.06.2017	22.88	97.69	25.60	99.36	22.96	99.18	25.40	99.90
03.06.2017	22.90	97.90	30.70	99.40	23.10	99.30	30.30	99.90
04.06.2017	22.90	97.90	30.70	99.40	23.10	99.30	30.30	99.90
05.06.2017	22.58	98.15	29.25	99.40	22.76	99.45	29.02	99.90
06.06.2017	21.56	98.85	25.00	99.44	21.65	99.87	25.01	99.90

PŘÍLOHA C.7 – DATA PLOCHÝCH STŘECH AP OD 7.6.-23.7.

07.06.2017	21.79	98.99	22.47	99.50	21.83	99.90	22.51	99.90
08.06.2017	21.89	99.19	22.20	99.56	21.91	99.90	22.19	99.90
09.06.2017	22.24	99.48	23.66	99.56	22.29	99.90	23.66	99.90
10.06.2017	22.06	99.73	23.03	99.57	22.10	99.90	23.06	99.90
11.06.2017	22.27	99.83	24.49	99.56	22.32	99.90	24.45	99.90
12.06.2017	22.15	99.90	24.95	99.50	22.21	99.90	24.93	99.90
13.06.2017	22.08	99.90	24.91	99.44	22.14	99.90	24.89	99.90
14.06.2017	21.92	99.90	24.01	99.48	21.93	99.90	23.99	99.90
15.06.2017	22.03	99.90	23.47	99.44	21.96	99.90	23.50	99.90
16.06.2017	21.93	99.90	23.02	99.46	21.99	99.90	23.10	99.90
17.06.2017	21.84	99.90	19.78	99.66	21.88	99.90	19.92	99.90
18.06.2017	21.82	99.90	21.78	99.82	21.85	99.90	21.76	99.90
19.06.2017	22.12	99.90	24.88	99.76	22.16	99.90	24.84	99.90
20.06.2017	21.95	99.90	27.02	99.40	22.05	99.90	26.98	99.90
21.06.2017	22.01	99.90	27.62	99.01	22.08	99.90	27.57	99.90
22.06.2017	22.59	99.90	27.80	98.93	22.62	99.90	27.73	99.89
23.06.2017	22.37	99.90	25.87	98.89	22.42	99.90	25.89	99.90
24.06.2017	22.44	99.90	26.85	98.44	22.48	99.90	26.81	99.44
25.06.2017	22.42	99.90	26.17	98.09	22.46	99.90	26.18	99.02
26.06.2017	22.45	99.90	26.09	98.00	22.50	99.90	26.02	98.72
27.06.2017	22.90	99.90	26.11	97.88	22.96	99.90	26.08	98.43
28.06.2017	22.37	99.90	27.48	96.99	22.45	99.90	27.41	96.43
29.06.2017	22.25	99.90	25.29	96.95	22.30	99.90	25.31	96.43
30.06.2017	22.13	99.90	23.71	97.52	22.24	99.90	23.70	97.73
01.07.2017	22.33	99.90	23.56	97.64	22.41	99.90	23.58	97.81
02.07.2017	22.38	99.90	22.19	98.18	22.46	99.90	22.25	98.87
03.07.2017	22.47	99.34	23.36	98.32	22.56	99.90	23.34	98.74
04.07.2017	22.39	98.74	22.46	98.43	22.45	99.90	22.48	99.05
05.07.2017	22.74	99.90	25.44	97.70	22.77	99.90	25.39	97.19
06.07.2017	22.62	99.90	25.93	96.69	22.66	99.90	25.91	94.95
07.07.2017	22.46	99.90	24.11	97.01	22.53	99.90	24.17	95.90
08.07.2017	22.53	99.90	26.00	95.89	22.60	99.90	25.97	93.27
09.07.2017	22.58	99.90	26.67	94.57	22.63	99.90	26.64	90.74
10.07.2017	22.37	99.90	26.17	93.83	22.49	99.90	26.18	89.63
11.07.2017	21.93	99.90	25.37	93.27	22.01	99.90	25.35	89.09
12.07.2017	21.78	99.90	24.96	92.44	21.90	99.90	24.95	88.73
13.07.2017	21.79	96.02	22.94	93.39	21.89	99.90	22.96	92.21
14.07.2017	21.94	95.58	22.29	93.31	22.01	99.90	22.28	94.64
15.07.2017	22.02	94.30	20.85	94.27	22.08	99.90	20.95	96.59
16.07.2017	22.25	96.46	22.41	92.98	22.27	99.90	22.36	96.76
17.07.2017	22.17	95.33	23.48	91.64	22.21	99.90	23.45	95.34
18.07.2017	22.25	91.17	25.78	86.70	22.38	99.90	25.71	90.29
19.07.2017	21.82	93.04	26.24	84.01	21.94	99.90	26.21	85.81
20.07.2017	22.00	96.96	27.16	81.38	22.12	99.90	27.11	81.15
21.07.2017	22.17	96.38	26.54	80.50	22.27	99.90	26.51	80.39
22.07.2017	22.25	94.99	26.76	78.58	22.34	99.90	26.73	79.55
23.07.2017	22.23	93.17	26.43	76.83	22.32	99.90	26.40	79.14

PŘÍLOHA C.8 – DATA PLOCHÝCH STŘECH AP AP OD 24.7.-6.9.

24.07.2017	22.12	85.88	22.79	82.63	22.18	99.90	22.90	87.57
25.07.2017	22.02	82.70	21.67	83.67	22.06	99.90	21.69	92.99
26.07.2017	21.95	85.10	20.76	86.48	21.96	99.90	20.81	95.53
27.07.2017	21.88	79.43	20.27	86.81	21.91	99.90	20.34	96.69
28.07.2017	22.08	80.01	22.71	81.14	22.12	99.90	22.66	96.18
29.07.2017	22.12	79.61	23.97	76.61	22.19	99.90	23.92	93.30
30.07.2017	22.10	81.06	25.76	70.73	22.20	99.90	25.72	87.93
31.07.2017	22.00	86.69	27.80	65.05	22.14	99.90	27.74	78.99
01.08.2017	22.05	88.48	28.43	63.05	22.20	99.90	28.36	73.40
02.08.2017	22.11	87.70	28.56	61.48	22.25	99.90	28.48	71.02
03.08.2017	21.79	86.11	28.75	59.10	21.95	99.90	28.69	69.65
04.08.2017	22.17	80.00	26.29	62.17	22.28	99.90	26.30	75.13
05.08.2017	22.07	80.92	28.26	57.23	22.22	99.90	28.15	71.55
06.08.2017	21.75	79.74	24.40	65.03	21.87	99.90	24.47	79.69
07.08.2017	21.74	74.27	24.15	64.15	21.82	99.90	24.08	83.56
08.08.2017	21.70	72.31	23.63	63.64	21.78	99.90	23.60	85.20
09.08.2017	21.83	72.74	25.99	57.34	21.93	99.90	25.89	80.00
10.08.2017	21.96	75.10	26.48	56.12	22.06	99.90	26.45	76.21
11.08.2017	21.88	73.30	24.77	59.76	21.96	99.90	24.77	80.63
12.08.2017	21.73	70.42	22.75	63.73	21.79	99.90	22.76	86.89
13.08.2017	21.78	67.41	22.88	62.12	21.82	99.90	22.85	88.81
14.08.2017	21.76	68.10	23.78	59.20	21.82	99.90	23.74	87.04
15.08.2017	21.79	67.92	24.60	57.32	21.90	99.90	24.56	84.53
16.08.2017	21.86	68.74	24.58	57.07	21.99	99.90	24.54	83.64
17.08.2017	22.08	69.00	25.70	54.98	22.17	99.90	25.62	80.97
18.08.2017	22.43	69.38	26.57	53.61	22.49	99.90	26.51	78.21
19.08.2017	22.35	67.49	23.47	59.81	22.40	99.90	23.57	85.04
20.08.2017	22.36	64.51	22.14	62.38	22.37	99.90	22.16	91.38
21.08.2017	22.23	62.89	21.20	64.05	22.26	99.90	21.20	94.46
22.08.2017	22.25	60.25	20.45	64.35	22.20	99.90	20.48	96.18
23.08.2017	21.82	58.67	20.82	60.91	21.80	99.90	20.84	96.63
24.08.2017	21.83	57.03	19.08	63.34	21.62	99.90	19.16	97.14
24.8.2017	22.71	58.27	24.90	50.85	22.68	99.90	24.85	95.96
25.8.2017	22.22	60.53	24.46	52.64	22.24	99.90	24.42	93.10
26.8.2017	21.93	63.72	25.35	51.54	22.03	99.90	25.33	87.15
27.8.2017	21.86	65.61	25.10	52.54	21.97	99.90	25.12	83.74
28.8.2017	21.71	64.73	23.63	55.84	21.79	99.90	23.61	86.31
29.8.2017	21.73	62.69	22.83	57.10	21.76	99.90	22.84	88.64
30.8.2017	21.77	61.39	22.85	56.31	21.80	99.56	22.87	89.17
31.8.2017	21.57	61.01	21.36	58.94	21.58	99.90	21.38	91.62
31.08.2017	22.07	62.69	27.53	46.24	22.18	99.90	27.40	79.94
01.09.2017	21.68	62.12	22.41	56.45	21.73	99.90	22.51	87.80
02.09.2017	21.65	57.63	19.09	63.33	21.62	89.92	19.19	95.22
03.09.2017	21.41	54.42	17.80	63.76	21.40	75.41	17.91	97.03
04.09.2017	21.11	53.39	18.26	60.83	21.11	72.09	18.31	97.59
05.09.2017	21.20	53.66	19.24	58.30	21.21	73.46	19.28	96.77
06.09.2017	21.27	53.87	19.16	58.46	21.28	72.59	19.23	95.01

PŘÍLOHA C.9 – DATA PLOCHÝCH STŘECH AP OD 7.9.-23.10.

07.09.2017	21.26	53.87	18.44	60.28	21.27	69.04	18.56	93.83
08.09.2017	20.91	53.61	18.34	60.59	20.91	65.20	18.42	90.40
09.09.2017	21.14	53.95	19.67	57.08	21.15	69.16	19.72	86.96
10.09.2017	21.42	54.32	19.97	56.82	21.44	71.17	20.05	86.38
11.09.2017	21.54	53.72	18.70	60.09	21.53	67.43	18.81	87.46
12.09.2017	21.24	53.48	17.53	63.26	21.24	64.92	17.66	86.91
13.09.2017	20.64	54.04	16.92	64.74	20.62	62.57	17.00	85.51
14.09.2017	20.82	55.11	18.94	59.87	20.83	65.69	18.99	80.06
15.09.2017	20.81	54.35	17.13	64.65	20.84	60.50	17.25	83.50
16.09.2017	20.21	54.04	15.64	67.61	20.26	57.03	15.85	82.51
17.09.2017	19.68	54.08	15.17	67.68	19.71	59.13	15.36	81.28
18.09.2017	19.69	52.47	14.93	67.84	19.72	56.63	15.11	80.95
19.09.2017	19.65	52.56	14.67	67.92	19.69	56.16	14.86	80.51
20.09.2017	19.98	51.55	14.17	69.26	19.98	54.96	14.33	80.93
21.09.2017	20.34	51.19	14.37	70.21	20.31	52.84	14.50	80.16
22.09.2017	20.26	51.98	15.24	67.88	20.28	54.14	15.40	77.33
23.09.2017	21.41	47.90	13.56	73.17	21.42	47.94	13.81	80.91
24.09.2017	21.60	48.69	15.02	70.07	21.61	50.74	15.19	77.53
25.09.2017	22.21	50.32	15.61	70.39	22.17	51.99	15.79	77.96
26.09.2017	21.97	51.60	15.42	72.64	21.95	51.86	15.57	79.19
27.09.2017	21.49	53.38	16.26	71.05	21.48	53.81	16.39	77.00
28.09.2017	20.61	55.93	16.46	69.82	20.66	57.18	16.62	76.19
29.09.2017	20.01	56.01	15.33	71.96	20.03	55.03	15.51	77.54
30.09.2017	19.39	55.84	14.57	72.67	19.41	52.79	14.76	76.39
01.10.2017	18.77	55.62	13.89	73.07	18.80	50.23	14.10	74.60
02.10.2017	18.28	55.44	13.68	72.23	18.31	48.90	13.92	72.00
03.10.2017	18.19	55.56	13.41	71.39	18.20	51.38	13.66	70.97
04.10.2017	17.65	54.88	12.87	72.38	17.70	53.05	13.07	73.18
05.10.2017	17.80	55.75	14.44	67.54	17.85	54.87	14.55	69.61
06.10.2017	17.76	55.57	13.31	69.93	17.79	53.51	13.54	72.33
07.10.2017	17.25	55.09	12.65	71.51	17.28	51.75	12.83	72.26
08.10.2017	17.18	55.39	12.88	70.10	17.20	52.98	13.06	70.62
09.10.2017	19.14	49.56	11.85	73.89	19.11	46.10	12.10	73.68
10.10.2017	18.94	49.97	12.29	73.21	18.90	45.31	12.48	70.95
11.10.2017	19.23	51.71	14.53	67.73	19.20	49.91	14.67	66.81
12.10.2017	19.26	51.57	13.87	69.88	19.21	50.01	14.03	70.08
13.10.2017	19.94	50.58	14.19	69.50	19.89	49.20	14.35	69.99
14.10.2017	20.47	49.19	14.17	70.48	20.44	46.48	14.35	70.16
15.10.2017	20.55	50.36	15.16	68.51	20.52	48.11	15.29	68.04
16.10.2017	20.54	50.89	15.00	69.19	20.50	49.04	15.14	68.95
17.10.2017	20.55	50.66	14.58	70.44	20.54	49.42	14.75	70.36
18.10.2017	20.50	50.17	14.11	71.69	20.46	48.91	14.29	71.63
19.10.2017	20.61	50.59	14.77	70.33	20.61	49.61	14.94	70.33
20.10.2017	20.44	50.29	13.41	74.05	20.39	48.79	13.64	73.56
21.10.2017	20.42	50.23	13.71	73.50	20.35	49.51	13.87	72.88
22.10.2017	20.41	50.72	13.80	73.35	20.38	51.31	13.97	73.62
23.10.2017	20.67	48.61	12.30	77.51	20.58	45.94	12.46	77.08

PŘÍLOHA C.10 – DATA PLOCHÝCH STŘECH AP OD 24.10.-3.12.

24.10.2017	20.84	47.92	12.65	77.14	20.76	42.96	12.78	73.46
25.10.2017	20.88	48.06	12.70	76.94	20.79	43.70	12.89	72.09
26.10.2017	20.97	48.15	13.12	75.93	20.89	44.88	13.30	71.71
27.10.2017	20.89	47.98	12.20	78.08	20.79	44.59	12.40	74.42
28.10.2017	20.81	46.59	11.55	79.66	20.69	40.82	11.76	74.19
29.10.2017	20.83	45.10	10.98	79.95	20.71	38.27	11.17	72.84
30.10.2017	20.72	42.68	9.42	83.17	20.57	32.92	9.66	73.23
31.10.2017	20.58	40.86	8.59	84.09	20.42	31.51	8.90	70.66
01.11.2017	20.56	39.80	8.38	83.77	20.42	31.98	8.68	70.58
02.11.2017	20.69	41.96	10.66	78.56	20.57	35.55	10.87	66.40
03.11.2017	20.74	43.12	10.28	79.12	20.62	36.81	10.54	69.39
04.11.2017	20.69	40.86	9.30	81.65	20.56	33.75	9.56	71.08
05.11.2017	20.74	41.49	9.73	80.74	20.62	35.40	9.99	69.75
06.11.2017	20.60	43.11	10.77	78.48	20.50	37.84	10.98	68.92
07.11.2017	20.59	43.19	10.60	79.08	20.49	37.38	10.83	69.82
08.11.2017	20.49	42.71	9.83	80.94	20.39	36.04	10.10	70.95
09.11.2017	20.55	41.71	9.43	81.94	20.45	36.19	9.67	71.49
10.11.2017	20.53	41.92	9.62	81.44	20.43	36.21	9.84	71.39
11.11.2017	20.30	41.54	9.10	82.15	20.19	34.16	9.38	71.50
12.11.2017	20.29	40.17	8.32	83.29	20.17	32.81	8.65	71.11
13.11.2017	20.29	39.39	7.93	83.81	20.15	31.37	8.18	71.05
14.11.2017	20.17	38.09	7.10	85.16	20.03	28.68	7.43	70.11
15.11.2017	19.93	36.11	5.71	86.95	19.78	26.98	6.09	70.22
16.11.2017	19.95	36.25	6.22	86.46	19.81	28.23	6.55	68.67
17.11.2017	20.13	37.87	7.44	84.47	19.99	29.80	7.72	67.04
18.11.2017	20.14	38.00	7.27	84.65	20.01	30.38	7.58	68.67
19.11.2017	20.06	37.41	6.77	85.48	19.91	29.34	7.11	69.50
20.11.2017	20.01	37.01	6.63	85.72	19.88	28.78	6.96	69.21
21.11.2017	20.17	36.57	6.72	85.60	20.00	29.28	7.06	68.56
22.11.2017	20.10	39.23	7.98	82.83	19.99	33.72	8.30	68.26
23.11.2017	20.00	37.72	6.63	85.92	19.87	31.65	6.98	73.25
24.11.2017	20.12	38.29	7.27	85.35	20.04	32.55	7.60	72.02
25.11.2017	20.11	39.05	7.77	84.83	20.14	33.95	8.08	71.96
26.11.2017	20.08	38.76	6.88	86.38	20.11	30.99	7.22	74.35
27.11.2017	19.86	35.23	4.89	88.97	19.78	26.79	5.31	74.46
28.11.2017	19.86	34.79	5.13	88.88	19.70	25.88	5.53	70.54
29.11.2017	19.86	34.73	4.90	88.99	19.72	26.03	5.35	69.29
30.11.2017	19.77	34.46	4.80	89.23	19.63	26.92	5.24	70.09
01.12.2017	19.64	32.70	3.36	90.05	19.48	24.87	3.77	73.35
02.12.2017	19.61	30.01	2.33	90.57	19.41	22.35	2.65	73.21
03.12.2017	19.65	31.03	3.28	90.24	19.45	22.53	3.53	69.12

PŘÍLOHA C.11 – DATA PLOCHÝCH STŘECH PVC OD 10.3.-20.4.

DATUM	S05							
	MEZI OSB A EPS		MEZI EPS A HI		MEZI OSB A EPS		MEZI EPS A HI	
	PERFOROVANÉ		PERFOROVANÉ					
	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH	TEPLOTA	RH
10.03.2017	20.43	45.76	8.65	90.51	20.47	68.22	8.53	89.88
11.03.2017	19.29	46.14	8.32	90.66	19.35	67.57	8.35	90.11
12.03.2017	19.15	45.12	7.81	90.02	19.20	65.86	7.83	89.51
13.03.2017	19.44	45.84	8.74	89.86	19.49	64.75	8.74	89.39
14.03.2017	19.33	45.85	8.68	89.40	19.37	64.42	8.72	88.97
15.03.2017	19.54	48.13	9.58	89.17	19.57	65.34	9.62	88.81
16.03.2017	19.61	47.42	9.69	88.71	19.65	64.56	9.76	88.42
17.03.2017	19.69	48.95	10.58	88.64	19.73	65.15	10.63	88.36
18.03.2017	19.31	51.90	10.42	87.98	19.40	67.32	10.40	87.69
19.03.2017	19.18	48.41	9.53	87.30	19.29	63.58	9.49	87.12
20.03.2017	19.61	54.17	12.11	87.63	19.72	67.02	12.17	87.63
21.03.2017	19.83	53.97	12.09	87.14	19.94	67.24	12.14	87.14
22.03.2017	19.64	52.73	10.88	86.23	19.74	66.46	10.87	86.18
23.03.2017	19.48	47.99	9.92	85.46	19.62	61.15	9.95	85.61
24.03.2017	19.55	50.29	10.80	85.51	19.67	62.46	10.83	85.59
25.03.2017	19.21	49.95	10.54	85.23	19.32	62.10	10.56	85.27
26.03.2017	18.96	50.11	10.29	84.94	19.08	61.89	10.31	84.94
27.03.2017	19.28	49.13	10.88	84.78	19.41	60.51	10.93	84.82
28.03.2017	19.70	52.50	12.81	85.24	19.81	64.14	12.86	85.17
29.03.2017	19.67	57.16	13.91	85.54	19.73	68.78	13.94	85.30
30.03.2017	19.92	64.72	15.31	85.86	19.96	73.28	15.32	85.44
31.03.2017	20.31	61.06	15.21	85.48	20.36	71.02	15.22	84.98
01.04.2017	20.32	61.79	15.65	85.47	20.37	71.91	15.66	84.88
02.04.2017	20.75	64.50	16.76	85.61	20.80	74.33	16.80	84.94
03.04.2017	21.24	64.54	16.74	85.30	21.31	74.27	16.74	84.63
04.04.2017	20.87	63.24	16.00	84.88	20.93	72.42	16.00	84.16
05.04.2017	20.31	62.51	14.76	84.35	20.36	70.57	14.72	83.57
06.04.2017	19.59	56.84	12.30	83.30	19.64	65.45	12.24	82.49
07.04.2017	19.61	51.70	11.32	82.58	19.67	59.40	11.26	81.86
08.04.2017	19.59	56.04	13.04	83.15	19.64	61.76	13.04	82.33
09.04.2017	19.77	59.73	14.60	83.67	19.83	66.39	14.64	82.74
10.04.2017	20.17	59.26	15.31	83.85	20.24	67.51	15.39	82.88
11.04.2017	20.20	60.92	13.97	83.27	20.26	67.95	13.91	82.20
12.04.2017	19.96	54.85	12.95	82.63	20.00	60.60	13.00	81.68
13.04.2017	19.62	58.75	13.26	82.78	19.63	63.19	13.24	81.66
14.04.2017	19.15	59.58	13.58	82.97	19.18	63.44	13.58	81.83
15.04.2017	19.55	54.97	12.48	82.29	19.59	60.16	12.54	81.19
16.04.2017	19.62	56.49	12.85	82.30	19.65	60.39	12.84	81.08
17.04.2017	19.49	49.14	10.61	81.29	19.54	54.78	10.66	80.14
18.04.2017	19.54	49.34	10.94	81.27	19.62	53.02	10.95	80.02
19.04.2017	19.16	42.66	8.06	80.06	19.28	48.03	7.94	78.77
20.04.2017	19.14	39.77	7.44	79.57	19.31	42.53	7.40	78.25

PŘÍLOHA C.12 – DATA PLOCHÝCH STŘECH PVC OD 21.4.-6.6.

21.04.2017	19.21	42.65	9.28	80.34	19.38	43.71	9.36	79.01
22.04.2017	19.56	50.43	11.43	81.26	19.68	52.34	11.43	79.79
23.04.2017	19.53	48.51	10.91	81.04	19.65	51.07	10.89	79.55
24.04.2017	19.82	49.93	12.14	81.41	19.96	52.05	12.20	79.94
25.04.2017	19.56	51.47	12.00	81.53	19.66	54.57	12.05	80.03
26.04.2017	19.52	53.94	11.90	81.58	19.62	56.97	11.88	79.94
27.04.2017	19.43	48.41	10.45	80.85	19.55	51.36	10.43	79.24
28.04.2017	19.39	44.99	9.33	80.26	19.53	47.99	9.28	78.62
29.04.2017	19.56	48.33	11.36	80.98	19.68	48.83	11.40	79.38
30.04.2017	19.69	53.67	13.23	81.88	19.79	55.95	13.29	80.27
01.05.2017	19.67	57.39	14.05	82.40	19.76	60.44	14.13	80.80
02.05.2017	19.77	60.86	14.81	82.72	19.86	64.16	14.83	81.07
03.05.2017	19.82	58.79	14.66	82.75	19.90	63.81	14.72	81.13
04.05.2017	19.97	64.33	16.09	83.37	20.05	67.64	16.14	81.72
05.05.2017	20.46	64.65	16.31	83.48	20.55	68.55	16.36	81.83
06.05.2017	20.78	66.99	17.98	84.06	20.85	71.10	18.03	82.41
07.05.2017	21.05	69.28	17.83	84.28	21.11	74.32	17.86	82.67
08.05.2017	20.89	65.81	17.32	84.20	20.96	72.18	17.40	82.59
09.05.2017	20.39	61.02	14.18	83.26	20.46	67.62	14.19	81.63
10.05.2017	19.79	56.16	13.71	83.00	19.88	60.46	13.81	81.38
11.05.2017	20.01	60.86	16.33	84.01	20.09	65.80	16.44	82.36
12.05.2017	21.08	71.41	18.87	85.04	21.16	75.02	18.90	83.41
13.05.2017	21.64	72.84	19.46	85.31	21.69	77.78	19.49	83.70
14.05.2017	21.74	71.43	19.07	85.41	21.79	77.56	19.11	83.83
15.05.2017	21.83	70.28	18.55	85.31	21.87	75.55	18.58	83.75
16.05.2017	21.86	69.50	19.35	85.57	21.92	74.94	19.41	83.97
17.05.2017	22.43	75.95	21.19	86.31	22.48	80.26	21.26	84.76
18.05.2017	22.67	75.63	21.09	86.65	22.72	82.03	21.17	85.16
19.05.2017	23.03	78.21	21.96	87.12	23.09	83.89	22.05	85.68
20.05.2017	22.87	72.60	18.57	86.54	22.92	79.91	18.54	85.15
21.05.2017	22.57	71.20	20.45	86.81	22.63	75.97	20.53	85.39
22.05.2017	23.44	73.17	21.28	87.21	23.49	78.84	21.33	85.79
23.05.2017	22.82	77.32	22.22	87.63	22.92	82.85	22.28	86.22
24.05.2017	19.14	89.82	19.35	88.18	19.22	93.00	19.39	86.74
25.05.2017	19.13	83.83	17.52	87.94	19.17	90.15	17.57	86.50
26.05.2017	19.49	85.30	20.51	88.29	19.52	90.53	20.60	86.88
27.05.2017	19.67	90.61	22.02	88.87	19.74	94.13	22.09	87.52
28.05.2017	19.46	92.42	22.44	88.84	19.54	95.40	22.65	87.93
29.05.2017	19.49	93.22	23.23	84.93	19.59	95.90	23.49	88.40
30.05.2017	19.57	93.73	25.21	78.85	19.68	96.18	25.44	88.95
31.05.2017	21.78	93.98	24.64	78.49	21.88	96.39	24.70	89.38
01.06.2017	23.41	94.43	24.43	81.92	23.48	96.78	24.49	89.67
02.06.2017	22.88	94.07	24.95	81.03	22.96	97.14	25.25	89.94
03.06.2017	22.90	94.40	29.20	75.50	23.00	97.30	29.80	90.30
04.06.2017	22.90	94.40	29.20	75.50	23.00	97.30	29.80	90.30
05.06.2017	22.57	94.66	28.15	73.89	22.66	97.47	28.54	90.37
06.06.2017	21.55	95.34	24.82	71.91	21.64	97.92	24.82	90.25

PŘÍLOHA C.13 – DATA PLOCHÝCH STŘECH PVC OD 7.6.-23.7.

07.06.2017	21.75	94.90	22.45	76.90	21.81	98.00	22.46	89.76
08.06.2017	21.82	89.93	22.07	77.98	21.87	98.16	22.13	89.42
09.06.2017	22.19	89.77	23.52	73.91	22.23	98.35	23.56	88.75
10.06.2017	21.98	90.93	22.98	74.53	22.02	98.51	22.96	88.23
11.06.2017	22.18	89.13	24.27	71.56	22.21	98.66	24.32	87.10
12.06.2017	22.09	91.80	24.78	69.36	22.13	98.81	24.81	85.59
13.06.2017	22.01	93.07	24.65	69.45	22.06	98.88	24.68	84.57
14.06.2017	21.78	92.16	23.77	70.68	21.83	98.97	23.82	84.20
15.06.2017	21.75	90.76	23.43	70.77	21.80	99.01	23.44	83.00
16.06.2017	21.86	91.16	23.06	71.50	21.88	99.09	23.04	83.26
17.06.2017	21.82	83.79	20.03	79.22	21.83	99.09	20.04	85.98
18.06.2017	21.80	82.17	21.73	77.50	21.81	99.19	21.79	87.00
19.06.2017	22.05	87.99	24.65	69.87	22.07	99.37	24.73	83.08
20.06.2017	21.92	92.72	26.73	63.84	21.98	99.49	26.77	74.59
21.06.2017	21.91	94.68	27.31	61.80	21.96	99.37	27.38	66.58
22.06.2017	22.39	94.22	27.44	61.77	22.44	99.25	27.50	64.30
23.06.2017	22.22	94.50	25.73	66.53	22.27	99.24	25.75	67.83
24.06.2017	22.27	94.49	26.55	65.50	22.32	99.34	26.62	66.67
25.06.2017	22.25	94.82	25.98	64.92	22.30	99.32	26.04	65.49
26.06.2017	22.28	94.53	25.78	67.11	22.33	99.43	25.84	67.56
27.06.2017	22.78	94.41	25.91	67.34	22.81	99.48	25.95	67.65
28.06.2017	22.26	95.95	27.15	64.42	22.29	99.46	27.22	64.35
29.06.2017	22.14	95.52	25.13	67.54	22.12	99.45	25.16	66.97
30.06.2017	22.13	93.58	23.57	72.17	22.14	99.58	23.64	72.18
01.07.2017	22.32	92.46	23.48	72.50	22.33	99.71	23.52	72.97
02.07.2017	22.38	88.48	22.25	75.23	22.38	99.74	22.29	76.61
03.07.2017	22.45	87.58	23.16	73.29	22.45	99.76	23.22	76.05
04.07.2017	22.39	84.02	22.41	72.83	22.37	99.21	22.46	76.66
05.07.2017	22.64	86.15	25.19	67.05	22.64	98.67	25.24	70.44
06.07.2017	22.54	90.65	25.69	65.60	22.55	99.02	25.75	67.15
07.07.2017	22.42	87.69	24.12	68.87	22.42	98.53	24.13	70.84
08.07.2017	22.47	89.52	25.79	66.69	22.47	98.46	25.84	68.86
09.07.2017	22.49	92.01	26.40	65.51	22.52	98.69	26.46	66.29
10.07.2017	22.37	92.55	26.03	66.22	22.38	98.66	26.07	66.64
11.07.2017	21.90	92.48	25.15	68.15	21.93	98.67	25.21	69.06
12.07.2017	21.80	91.10	24.74	67.87	21.85	98.50	24.79	69.19
13.07.2017	21.82	86.01	22.75	70.43	21.84	97.41	22.76	73.10
14.07.2017	21.96	79.95	22.15	69.36	21.97	93.43	22.21	74.61
15.07.2017	22.04	76.30	21.01	70.42	22.03	89.73	21.01	77.07
16.07.2017	22.20	75.38	22.21	68.12	22.22	87.21	22.27	75.62
17.07.2017	22.14	78.55	23.32	65.05	22.17	89.39	23.36	71.73
18.07.2017	22.34	83.07	25.45	61.12	22.40	92.19	25.51	65.74
19.07.2017	21.82	86.18	25.95	59.82	21.88	94.88	26.02	63.58
20.07.2017	21.98	86.37	26.78	57.65	22.04	95.23	26.84	61.63
21.07.2017	22.12	86.70	26.24	59.90	22.16	94.91	26.27	63.80
22.07.2017	22.19	86.82	26.47	60.04	22.23	94.38	26.48	64.10
23.07.2017	22.17	87.20	26.13	60.75	22.20	94.49	26.15	64.71

PŘÍLOHA C.14 – DATA PLOCHÝCH STŘECH PVC OD 24.7.-6.9.

24.07.2017	22.09	82.02	22.90	67.32	22.08	93.82	22.87	71.74
25.07.2017	21.99	75.24	21.61	69.49	21.96	91.56	21.64	76.77
26.07.2017	21.91	71.00	20.83	68.73	21.94	84.19	20.87	77.68
27.07.2017	21.85	69.23	20.39	68.71	21.87	81.55	20.41	78.41
28.07.2017	22.04	71.78	22.57	64.54	22.08	83.16	22.63	74.21
29.07.2017	22.08	74.76	23.76	60.90	22.11	86.49	23.84	69.51
30.07.2017	22.07	76.97	25.54	56.50	22.12	88.12	25.57	64.27
31.07.2017	21.99	81.50	27.41	53.09	22.06	92.31	27.47	59.83
01.08.2017	22.03	81.78	28.09	51.87	22.10	92.69	28.14	57.60
02.08.2017	22.07	82.50	28.15	51.27	22.13	91.70	28.23	56.31
03.08.2017	21.75	81.92	28.33	50.01	21.84	91.21	28.39	54.85
04.08.2017	22.13	79.80	26.15	55.79	22.17	87.93	26.14	60.50
05.08.2017	22.03	81.85	27.68	53.04	22.11	90.07	27.79	57.55
06.08.2017	21.75	78.57	24.38	59.14	21.80	87.80	24.34	63.78
07.08.2017	21.73	74.67	23.85	59.07	21.77	83.29	23.89	64.49
08.08.2017	21.68	72.09	23.48	57.34	21.74	81.05	23.53	62.83
09.08.2017	21.81	73.65	25.63	52.84	21.87	81.59	25.72	57.69
10.08.2017	21.92	77.06	26.23	53.42	21.98	84.23	26.25	56.99
11.08.2017	21.83	75.48	24.61	57.97	21.88	82.77	24.65	61.85
12.08.2017	21.71	73.48	22.67	62.15	21.75	80.00	22.67	66.22
13.08.2017	21.76	70.34	22.73	59.65	21.80	76.24	22.78	63.78
14.08.2017	21.75	71.45	23.55	57.22	21.79	76.17	23.57	60.56
15.08.2017	21.82	71.63	24.38	54.78	21.89	75.72	24.44	57.40
16.08.2017	21.91	71.23	24.36	54.45	21.97	74.74	24.37	56.59
17.08.2017	22.06	72.14	25.34	53.03	22.11	74.89	25.38	54.70
18.08.2017	22.36	72.59	26.23	51.36	22.40	75.10	26.31	52.35
19.08.2017	22.32	69.39	23.53	56.76	22.33	72.42	23.53	58.02
20.08.2017	22.32	65.75	22.17	59.85	22.32	68.29	22.18	61.56
21.08.2017	22.23	62.63	21.16	60.53	22.24	65.55	21.21	62.19
22.08.2017	22.19	59.24	20.48	59.98	22.19	62.03	20.52	61.54
23.08.2017	21.84	59.22	20.79	57.67	21.88	60.75	20.81	58.52
24.08.2017	21.80	56.40	19.40	59.63	21.81	58.46	19.48	59.59
24.8.2017	22.57	59.69	24.60	47.83	22.60	59.15	24.75	47.19
25.8.2017	22.19	61.93	24.25	49.24	22.20	60.53	24.37	48.23
26.8.2017	21.94	66.41	25.13	48.92	21.96	62.99	25.24	46.89
27.8.2017	21.87	68.21	24.96	50.53	21.90	64.24	25.02	47.81
28.8.2017	21.72	66.67	23.46	53.90	21.74	63.30	23.51	51.03
29.8.2017	21.73	63.57	22.74	53.23	21.75	60.44	22.80	50.35
30.8.2017	21.78	61.34	22.80	51.74	21.81	58.09	22.88	48.62
31.8.2017	21.61	60.47	21.50	54.00	21.63	57.03	21.54	50.30
31.08.2017	22.06	64.26	26.99	42.72	22.08	58.38	27.21	39.53
01.09.2017	21.70	62.56	22.48	52.99	21.73	57.66	22.41	48.96
02.09.2017	21.64	57.66	19.30	60.55	21.69	54.68	19.32	56.48
03.09.2017	21.41	56.15	18.09	62.56	21.44	52.91	18.05	58.27
04.09.2017	21.08	56.99	18.41	62.18	21.13	52.81	18.46	57.08
05.09.2017	21.16	57.18	19.35	59.49	21.22	52.78	19.44	53.85
06.09.2017	21.25	56.17	19.35	58.64	21.30	51.71	19.40	52.84

PŘÍLOHA C.15 – DATA PLOCHÝCH STŘECH PVC OD 7.9.-23.10.

07.09.2017	21.25	56.27	18.64	60.90	21.32	51.53	18.69	54.84
08.09.2017	20.88	55.87	18.50	60.79	20.95	50.84	18.60	54.12
09.09.2017	21.11	56.51	19.78	57.55	21.17	50.84	19.85	50.97
10.09.2017	21.41	56.98	20.10	57.53	21.46	51.31	20.13	51.13
11.09.2017	21.50	56.43	18.95	61.43	21.54	51.05	18.96	54.85
12.09.2017	21.25	57.62	17.82	65.89	21.30	51.58	17.86	58.63
13.09.2017	20.64	58.53	17.18	68.11	20.68	52.34	17.23	60.01
14.09.2017	20.81	60.57	19.03	63.73	20.85	53.52	19.08	55.79
15.09.2017	20.81	57.79	17.38	66.34	20.85	51.97	17.45	58.61
16.09.2017	20.29	57.11	16.12	67.69	20.33	50.71	16.14	59.81
17.09.2017	19.75	58.13	15.60	68.85	19.78	51.01	15.59	61.00
18.09.2017	19.76	56.67	15.30	69.76	19.80	50.06	15.38	61.97
19.09.2017	19.73	56.93	15.09	69.67	19.76	50.40	15.10	62.11
20.09.2017	20.02	54.55	14.57	70.13	20.05	48.76	14.50	63.39
21.09.2017	20.31	53.29	14.72	69.90	20.36	47.76	14.70	63.55
22.09.2017	20.30	54.34	15.58	67.67	20.35	49.10	15.58	61.44
23.09.2017	21.51	48.44	14.17	70.06	21.57	44.53	14.17	64.80
24.09.2017	21.65	49.89	15.43	68.18	21.71	45.16	15.45	62.72
25.09.2017	22.20	49.88	16.03	67.77	22.24	45.66	16.05	62.58
26.09.2017	22.02	50.37	15.84	68.68	22.03	46.50	15.85	63.94
27.09.2017	21.47	52.77	16.56	67.42	21.51	48.82	16.60	62.86
28.09.2017	20.65	55.56	16.76	66.64	20.68	52.00	16.81	62.37
29.09.2017	20.06	54.81	15.71	67.32	20.08	51.94	15.75	63.59
30.09.2017	19.45	54.13	14.95	67.01	19.48	51.34	15.01	63.50
01.10.2017	18.84	53.11	14.31	66.09	18.87	50.46	14.36	62.75
02.10.2017	18.36	52.15	14.08	64.43	18.39	49.56	14.12	61.21
03.10.2017	18.26	51.79	13.91	62.91	18.28	49.07	13.94	59.65
04.10.2017	17.75	51.54	13.29	64.45	17.78	48.63	13.37	61.47
05.10.2017	17.87	53.44	14.70	61.73	17.89	50.30	14.74	58.58
06.10.2017	17.84	52.47	13.70	62.90	17.85	50.30	13.73	59.95
07.10.2017	17.32	51.65	13.05	63.49	17.35	49.28	13.11	60.83
08.10.2017	17.23	52.17	13.27	62.56	17.25	49.64	13.31	59.78
09.10.2017	19.17	45.76	12.41	64.95	19.24	43.77	12.45	62.37
10.10.2017	18.93	46.60	12.79	64.42	18.98	44.10	12.81	61.55
11.10.2017	19.19	49.11	14.82	61.12	19.23	46.20	14.84	58.01
12.10.2017	19.23	48.69	14.18	63.27	19.26	46.32	14.23	60.26
13.10.2017	19.91	47.96	14.50	63.39	19.96	45.71	14.55	60.44
14.10.2017	20.50	46.58	14.52	63.98	20.56	44.11	14.57	61.10
15.10.2017	20.56	47.87	15.41	62.81	20.62	45.27	15.46	59.86
16.10.2017	20.55	48.42	15.26	63.65	20.62	46.01	15.32	60.75
17.10.2017	20.61	48.25	14.89	64.87	20.68	45.96	14.92	62.13
18.10.2017	20.52	48.02	14.44	66.08	20.59	45.78	14.48	63.42
19.10.2017	20.67	48.84	15.08	65.48	20.74	46.41	15.11	62.76
20.10.2017	20.44	47.96	13.83	67.85	20.51	46.17	13.87	65.29
21.10.2017	20.43	48.34	14.07	67.60	20.48	46.03	14.11	64.91
22.10.2017	20.42	48.81	14.13	67.82	20.50	46.73	14.18	65.02
23.10.2017	20.65	46.00	12.70	70.59	20.71	44.40	12.67	68.15

PŘÍLOHA C.16 – DATA PLOCH. STŘECH PVC OD 24.10.-3.12.



24.10.2017	20.79	45.99	13.02	70.41	20.85	43.41	12.99	67.49
25.10.2017	20.81	45.95	13.12	69.92	20.88	43.56	13.15	66.62
26.10.2017	20.92	46.23	13.53	69.27	20.98	43.58	13.54	66.04
27.10.2017	20.83	45.23	12.64	70.73	20.89	43.46	12.64	67.63
28.10.2017	20.74	44.29	12.10	71.76	20.81	42.10	12.04	68.54
29.10.2017	20.77	42.81	11.51	72.04	20.83	40.79	11.43	68.59
30.10.2017	20.63	40.18	10.01	74.28	20.72	38.16	9.93	71.00
31.10.2017	20.48	38.67	9.26	74.63	20.58	36.66	9.28	71.16
01.11.2017	20.47	37.87	9.06	74.32	20.59	35.56	9.08	70.79
02.11.2017	20.62	41.05	11.18	71.16	20.70	37.82	11.18	66.98
03.11.2017	20.66	40.59	10.79	71.39	20.73	38.91	10.83	67.25
04.11.2017	20.62	38.87	9.90	72.84	20.72	36.41	9.96	69.22
05.11.2017	20.67	39.35	10.30	72.14	20.78	37.00	10.36	68.06
06.11.2017	20.56	41.37	11.25	70.84	20.65	38.51	11.29	66.48
07.11.2017	20.56	41.11	11.09	71.03	20.66	38.49	11.15	66.85
08.11.2017	20.45	40.11	10.39	71.86	20.55	37.90	10.46	67.84
09.11.2017	20.55	39.07	10.03	72.32	20.65	36.89	10.07	68.41
10.11.2017	20.52	39.38	10.21	71.97	20.62	37.07	10.22	68.03
11.11.2017	20.28	39.08	9.73	72.64	20.38	36.70	9.78	68.59
12.11.2017	20.26	37.59	8.99	73.31	20.39	35.49	9.08	69.25
13.11.2017	20.25	36.67	8.54	73.65	20.37	34.50	8.49	69.79
14.11.2017	20.13	35.45	7.77	74.53	20.27	33.41	7.82	70.56
15.11.2017	19.89	33.41	6.48	75.54	20.04	31.49	6.57	71.84
16.11.2017	19.91	34.05	6.99	75.25	20.06	31.55	7.05	70.94
17.11.2017	20.09	35.62	8.09	73.79	20.22	32.91	8.13	68.87
18.11.2017	20.10	35.29	7.94	73.69	20.23	32.78	7.98	68.99
19.11.2017	20.01	34.63	7.47	74.17	20.14	32.29	7.54	69.50
20.11.2017	19.98	34.49	7.35	74.50	20.10	31.95	7.41	69.68
21.11.2017	20.11	34.33	7.47	74.51	20.27	31.55	7.54	69.43
22.11.2017	20.09	36.46	8.60	72.81	20.25	33.87	8.69	67.14
23.11.2017	19.99	34.63	7.39	74.34	20.12	32.28	7.48	69.84
24.11.2017	20.19	35.23	7.98	74.04	20.33	32.53	8.05	68.98
25.11.2017	20.35	35.75	8.47	73.62	20.48	32.81	8.53	68.40
26.11.2017	20.33	34.52	7.61	74.45	20.46	32.44	7.62	69.83
27.11.2017	19.95	31.79	5.79	76.33	20.13	29.87	5.86	72.37
28.11.2017	19.82	32.32	5.98	76.41	19.98	29.72	6.05	71.75
29.11.2017	19.85	31.81	5.78	76.32	20.02	29.61	6.00	71.25
30.11.2017	19.72	31.85	5.68	76.58	19.86	29.59	5.97	71.03
01.12.2017	19.58	29.69	4.39	77.11	19.72	28.16	4.53	72.39
02.12.2017	19.50	27.88	3.44	77.49	19.61	25.86	3.32	73.48
03.12.2017	19.54	29.21	4.20	77.47	19.62	26.56	4.01	72.59

PŘÍLOHA D - PROTOKOLY ZE SOFTWARE DEKSOFT 1D

PŘÍLOHA D.1 – SKLADBA S01 (DLE NORMY)

STR-1: Skladba - SBS AP + EPS (norma)													
Vnitřní konstrukce:										NE			
Charakter konstrukce:										Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:										NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem			
Skladba konstrukce od interiéru:													
č.	Název vrstvy				Tloušťka vrstvy		Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost		Faktor dif. odporu	
-	-					d	λ	λ _{ekv}	c	ρ		μ	
-	-					[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]		[-]	
1	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB				0,0220		0,150	-	1 580	630		200,0	
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA				0,0030		0,210	-	1 470	1 400		29 000,0	
3	Polystyren pěnový, EPS				0,1600		0,038	-	1 270	20		25,0	
4	GLASTEK 30 STICKER ULTRA				0,0030		0,210	-	1 470	1 400		29 000,0	
5	ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR				0,0045		0,210	-	1 470	1 400		30 000,0	
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)										R _{si}	0,25	0,10	m².K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)										R _{se}	0,04	0,04	m².K/W
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota										θ _i	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:										θ _{ai}	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:										φ _i	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:										Δφ _i	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:										θ _e	-15,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:										φ _e	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):										h	227	m.n.m.	
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	31	
θ _{e,m}	[°C]	-1,8	0,0	4,0	9,2	14,1	17,4	18,7	18,4	14,3	9,3	0,0	
φ _{e,m}	[%]	81	81	79	77	73	71	69	69	73	77	81	
θ _{i,m}	[°C]	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	
φ _{i,m}	[%]	56	59	59	62	66	71	72	72	67	62	59	
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; θ _{e,m} ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; φ _{e,m} ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; θ _{i,m} ... průměrná návrhová vnitřní teplota; φ _{i,m} ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.													



Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:													
Korekce součinitele prostupu tepla:					ΔU	0,000	W/(m².K)						
Odpor při prostupu tepla:					R _T	4,547	m².K/W						
Součinitel prostupu tepla:					U	0,220	W/(m².K)						
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:					U _N	0,24	W/(m².K)						
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:					U _{rec}	0,16	W/(m².K)						
Hodnocení:		Konstrukce STR-1: Skladba - SBS AP + EPS (norma) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.											
Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:													
Teplotní faktor vnitřního povrchu:					f _{Rsi}	0,947	-						
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:					f _{Rsi,N,80}	0,747	-						
Povrchová teplota konstrukce:					θ _{si}	18,7	°C						
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:					θ _{si,min,80}	11,6	°C						
Hodnocení:		Konstrukce STR-1: Skladba - SBS AP + EPS (norma) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.											
Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:													
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
θ _{si,min,80}	[°C]	14,93	15,70	15,76	16,49	17,55	18,70	18,98	18,82	17,64	16,52	15,75	15,70
f _{Rsi,min,80}	[-]	0,747	0,762	0,708	0,640	0,532	0,405	0,147	0,192	0,529	0,639	0,709	0,762
Pozn.: θ _{si,min,80} ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; f _{Rsi,min,80} ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.													
Kritický měsíc:						2	-						
Teplotní faktor vnitřního povrchu:					f _{Rsi}	0,947	-						
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:					f _{Rsi,N,80}	0,762	-						
Hodnocení:		Konstrukce STR-1: Skladba - SBS AP + EPS (norma) splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.											

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:														
Podmínky na rozhraních mezi materiály:														
Rozhraní				Teplota		Částečný tlak vodní páry		Nasycený částečný tlak vodní páry				Rel.vlhkost vzduchu		
-				[°C]		[Pa]		[Pa]				[-]		
i - 1				18,7		1 334		2 156				62%		
1 - 2				17,6		1 281		2 011				64%		
2 - 3				17,5		225		1 997				11%		
3 - 4				-14,4		174		174				100%		
4 - 5				-14,5		160		172				93%		
5 - e				-14,7		138		169				82%		
Kondenzační zóny:														
Číslo zóny						Od		Do				Mn. zkond. vodní páry		
[-]						[m]		[m]				[kg/(m².s)]		
1						0,185		0,185				2.29e-9		
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:								M _{c,N}		0,100		kg/(m².a)		
Roční množství zkondenzované vodní páry:								M _c		0,020		kg/(m².a)		
Roční množství vypařitelné vodní páry:								M _{ev}		0,020		kg/(m².a)		
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:								aktivní						
Hodnocení:		Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry												
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.														
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:														
Měsíc	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1. rozhraní				Vzdálenost od vnitřního povrchu						x	0,1850	m		
g _c	[kg/m²]	0,001	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,001	-0,001	-0,003	-0,004	-0,004	-0,001	
M _a	[kg/m²]	0,001	0,004	0,008	0,012	0,016	0,019	0,020	0,019	0,016	0,012	0,009	0,007	
Povrchová kondenzace														
M _a	[kg/m²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Celkem														
M _a	[kg/m²]	0,001	0,004	0,008	0,012	0,016	0,019	0,020	0,019	0,016	0,012	0,009	0,007	
Maximální roční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci									M _{c,N}		0,100		kg/(m².a)	
Maximální množství kondenzátu v konstrukci									M _c		0,020		kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:									pasivní					
Hodnocení:		Konstrukce v hodnocení neuspěla, v konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry, která se ani v příznivějších měsících nevypaří.												

PŘÍLOHA D.2 – SKLADBA S02 (DLE NORMY)

STR-2: Skladba - PVC-P + EPS (norma)													
Vnitřní konstrukce:										NE			
Charakter konstrukce:										Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										NE			
Konstrukce ve styku se zeminou:										NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem			
Skladba konstrukce od interiéru:													
Č.	Název vrstvy			Tloušťka vrstvy		Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita		Objemová hmotnost		Faktor dif. odporu	
-	-			d		λ λ_{ekv}		c		ρ		μ	
-	-			[m]		[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]		[kg/m³]		[-]	
1	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB			0,0220		0,150 -		1 580		630		200,0	
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA			0,0030		0,210 -		1 470		1 400		29 000,0	
3	Polystyren pěnový, EPS			0,1600		0,038 -		1 270		20		25,0	
4	DEKPLAN 76			0,0015		0,160 -		960		1 400		15 000,0	
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)										R_{si}	0,25	0,10	$\frac{\text{m}^2}{\text{K/W}}$
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)										R_{se}	0,04	0,04	$\frac{\text{m}^2}{\text{K/W}}$
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota										θ_i	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:										θ_{ai}	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:										φ_i	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:										$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:										θ_e	-15,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:										φ_e	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):										h	227	m.n.m.	
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{\text{e,m}}$	[°C]	-1,8	0,0	4,0	9,2	14,1	17,4	18,7	18,4	14,3	9,3	3,9	0,0
$\varphi_{\text{e,m}}$	[%]	81	81	79	77	73	71	69	69	73	77	79	81
$\theta_{\text{i,m}}$	[°C]	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
$\varphi_{\text{i,m}}$	[%]	56	59	59	62	66	71	72	72	67	62	59	59
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; $\theta_{\text{e,m}}$... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; $\varphi_{\text{e,m}}$... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; $\theta_{\text{i,m}}$... průměrná návrhová vnitřní teplota; $\varphi_{\text{i,m}}$... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.													



Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:															
Korekce součinitele prostupu tepla:								ΔU	0,000	W/(m².K)					
Odpor při prostupu tepla:								R _T	4,521	m².K/W					
Součinitel prostupu tepla:								U	0,221	W/(m².K)					
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:								U _N	0,24	W/(m².K)					
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:								U _{rec}	0,16	W/(m².K)					
Hodnocení:		Konstrukce STR-2: Skladba - PVC-P + EPS (norma) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.													
Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:															
Teplotní faktor vnitřního povrchu:								f _{Rsi}	0,946	-					
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:								f _{Rsi,N,80}	0,747	-					
Povrchová teplota konstrukce:								θ _{si}	18,7	°C					
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:								θ _{si,min,80}	11,6	°C					
Hodnocení:		Konstrukce STR-2: Skladba - PVC-P + EPS (norma) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.													
Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:															
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:															
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
θ _{si,min,80}	[°C]	14,93	15,70	15,76	16,49	17,55	18,70	18,98	18,82	17,64	16,52	15,75	15,70		
f _{Rsi,min,80}	[-]	0,747	0,762	0,708	0,640	0,532	0,405	0,147	0,192	0,529	0,639	0,709	0,762		
Pozn.: θ _{si,min,80} ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; f _{Rsi,min,80} ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.															
Kritický měsíc:									2	-					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:								f _{Rsi}	0,946	-					
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:								f _{Rsi,N,80}	0,762	-					
Hodnocení:		Konstrukce STR-2: Skladba - PVC-P + EPS (norma) splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.													

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:													
Podmínky na rozhraních mezi materiály:													
Rozhraní				Teplota		Částečný tlak vodní páry		Nasycený částečný tlak vodní páry				Rel.vlhkost vzduchu	
-				[°C]		[Pa]		[Pa]				[-]	
i - 1				18,7		1 334		2 155				62%	
1 - 2				17,6		1 280		2 009				64%	
2 - 3				17,5		222		1 995				11%	
3 - 4				-14,6		171		171				100%	
4 - e				-14,7		138		169				82%	
Kondenzační zóny:													
Číslo zóny						Od		Do				Mn. zkond. vodní páry	
[-]						[m]		[m]				[kg/(m².s)]	
1						0,185		0,185				2.07e-9	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:								M _{c,N}		0,100		kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:								M _c		0,008		kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:								M _{ev}		0,085		kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:								aktivní					
Hodnocení:		Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry											
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.													
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:													
Měsíc		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. rozhraní					Vzdálenost od vnitřního povrchu					x	0,1850	m	
g _c	[kg/m²]	0,002	0,002	0,001	-0,001	-0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M _a	[kg/m²]	0,002	0,004	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Povrchová kondenzace													
M _a	[kg/m²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkem													
M _a	[kg/m²]	0,002	0,004	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maximální roční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci										M _{c,N}	0,063	kg/(m².a)	
Maximální množství kondenzátu v konstrukci										M _c	0,005	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:										aktivní			
Hodnocení:		V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry v průběhu roku, která se v příznivějších měsících vypaří. Maximální množství kondenzátu splňuje požadavky ČSN 73 0540-2.											

PŘÍLOHA D.3 – SKLADBA S03 (DLE NORMY)

STR-3: Skladba - PVC-P + PIR (norma)												
Vnitřní konstrukce:							NE					
Charakter konstrukce:							Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)					
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:							NE					
Konstrukce ve styku se zeminou:							NE					
Součinitel prostupu tepla stanoven:							výpočtem					
Skladba konstrukce od interiéru:												
č.	Název vrstvy		Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost		Faktor dif. odporu			
-	-		d	λ	λ _{ekv}	c	ρ		μ			
-	-		[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]		[-]			
1	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB		0,0220	0,150	-	1 580	630		200,0			
2	TOPDEK AL BARRIER		0,0022	0,210	-	1 470	1 400		280 000,0			
3	TOPDEK 022 PIR		0,1600	0,022	-	1 400	32		60,0			
4	DEKPLAN 76		0,0015	0,160	-	960	1 400		15 000,0			
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)							R _{si}	0,25	0,10	m².K/W		
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)							R _{se}	0,04	0,04	m².K/W		
Okrajové podmínky:												
Návrhová vnitřní teplota							θ _i	20,0	°C			
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:							θ _{ai}	20,6	°C			
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:							φ _i	50	%			
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:							Δφ _i	5	%			
Návrhová teplota venkovního vzduchu:							θ _e	-15,0	°C			
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:							φ _e	84	%			
Nadmořská výška budovy (terénu):							h	227	m.n.m.			
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31
θ _{e,m}	[°C]	-1,8	0,0	4,0	9,2	14,1	17,4	18,7	18,4	14,3	9,3	0,0
φ _{e,m}	[%]	81	81	79	77	73	71	69	69	73	77	81
θ _{i,m}	[°C]	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
φ _{i,m}	[%]	56	59	59	62	66	71	72	72	67	62	59
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; θ _{e,m} ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; φ _{e,m} ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; θ _{i,m} ... průměrná návrhová vnitřní teplota; φ _{i,m} ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.												



Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:												
Korekce součinitele prostupu tepla:		ΔU	0,000	W/(m².K)								
Odpor při prostupu tepla:		R _T	7,579	m².K/W								
Součinitel prostupu tepla:		U	0,132	W/(m².K)								
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:		U _N	0,24	W/(m².K)								
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:		U _{rec}	0,16	W/(m².K)								
Hodnocení:	Konstrukce STR-3: Skladba - PVC-P + PIR (norma) splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.											
Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:												
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f _{Rsi}	0,968	-								
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		f _{Rsi,N,80}	0,747	-								
Povrchová teplota konstrukce:		θ _{si}	19,4	°C								
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		θ _{si,min,80}	11,6	°C								
Hodnocení:	Konstrukce STR-3: Skladba - PVC-P + PIR (norma) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.											
Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:												
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
θ _{si,min,80} [°C]	14,93	15,70	15,76	16,49	17,55	18,70	18,98	18,82	17,64	16,52	15,75	15,70
f _{Rsi,min,80} [-]	0,747	0,762	0,708	0,640	0,532	0,405	0,147	0,192	0,529	0,639	0,709	0,762
Pozn.: θ _{si,min,80} ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; f _{Rsi,min,80} ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.												
Kritický měsíc:			2	-								
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f _{Rsi}	0,968	-								
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		f _{Rsi,N,80}	0,762	-								
Hodnocení:	Konstrukce STR-3: Skladba - PVC-P + PIR (norma) splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.											

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	19,4	1 334	2 258	59%	
1 - 2	18,8	1 326	2 165	61%	
2 - 3	18,7	187	2 159	9%	
3 - 4	-14,8	168	168	100%	
4 - e	-14,8	138	168	83%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od		Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]		[m]	[kg/(m².s)]	
1	0,184		0,184	1.24e-10	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:			M _{c,N}	0,100	kg/(m².a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:			M _c	0,000	kg/(m².a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:			M _{ev}	0,083	kg/(m².a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:			aktivní		
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:					
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:				aktivní	
Hodnocení:	Konstrukce bez vnitřní kondenzace.				

PŘÍLOHA D.4 – SKLADBA S01 (DLE EXPERIMENTU)




STR-4: Skladba - SBS AP + EPS (experiment)													
Vnitřní konstrukce:										NE			
Charakter konstrukce:										Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										NE			
Konstrukce ve styku se zeminou:										NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem			
Skladba konstrukce od interiéru:													
č.	Název vrstvy				Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost		Faktor dif. odporu		
-	-					d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ		
-	-					[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]		
1	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB				0,0220	0,150	-	1 580	630	200,0			
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA				0,0030	0,210	-	1 470	1 400	29 000,0			
3	Polystyren pěnový, EPS				0,1600	0,038	-	1 270	20	25,0			
4	GLASTEK 30 STICKER ULTRA				0,0030	0,210	-	1 470	1 400	29 000,0			
5	ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR				0,0045	0,210	-	1 470	1 400	30 000,0			
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)									R _{si}	0,25	0,10	m².K/W	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)									R _{se}	0,04	0,04	m².K/W	
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota									θ _i	20,0	°C		
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:									θ _{ai}	20,6	°C		
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:									φ _i	50	%		
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:									Δφ _i	5	%		
Návrhová teplota venkovního vzduchu:									θ _e	-15,0	°C		
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:									φ _e	84	%		
Nadmořská výška budovy (terénu):									h	227	m.n.m.		
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
θ _{e,m}	[°C]	-1,6	3,0	9,5	12,4	20,3	26,2	24,8	24,9	14,3	9,3	3,9	0,0
φ _{e,m}	[%]	63	72	60	53	51	41	48	47	61	66	77	66
θ _{i,m}	[°C]	21,2	21,5	20,8	20,7	21,1	21,9	22,0	21,8	21,3	20,3	21,1	20,4
φ _{i,m}	[%]	51	54	53	51	58	62	66	65	56	58	57	56
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; θ _{e,m} ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; φ _{e,m} ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; θ _{i,m} ... průměrná návrhová vnitřní teplota; φ _{i,m} ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.													



Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:															
Korekce součinitele prostupu tepla:								ΔU	0,000	W/(m².K)					
Odpor při prostupu tepla:								R _T	4,547	m².K/W					
Součinitel prostupu tepla:								U	0,220	W/(m².K)					
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:								U _N	0,24	W/(m².K)					
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:								U _{rec}	0,16	W/(m².K)					
Hodnocení:		Konstrukce STR-4: Skladba - SBS AP + EPS (experiment) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.													
Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:															
Teplotní faktor vnitřního povrchu:								f _{Rsi}	0,947	-					
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:								f _{Rsi,N,80}	0,747	-					
Povrchová teplota konstrukce:								θ _{si}	18,7	°C					
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:								θ _{si,min,80}	11,6	°C					
Hodnocení:		Konstrukce STR-4: Skladba - SBS AP + EPS (experiment) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.													
Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:															
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:															
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
θ _{si,min,80}	[°C]	13,93	15,15	14,35	13,71	15,84	17,76	18,79	18,56	15,66	15,09	15,61	14,65		
f _{Rsi,min,80}	[-]	0,681	0,657	0,429	0,158	0,000	1,000	1,000	1,000	0,195	0,527	0,681	0,718		
Pozn.: θ _{si,min,80} ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; f _{Rsi,min,80} ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.															
Kritický měsíc:										7	-				
Teplotní faktor vnitřního povrchu:									f _{Rsi}	0,947	-				
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:									f _{Rsi,N,80}	1,000	-				
Hodnocení:		Konstrukce STR-4: Skladba - SBS AP + EPS (experiment) nesplňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.													

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:													
Podmínky na rozhraních mezi materiály:													
Rozhraní				Teplota		Částečný tlak vodní páry		Nasycený částečný tlak vodní páry				Rel.vlhkost vzduchu	
-				[°C]		[Pa]		[Pa]				[-]	
i - 1				18,7		1 334		2 156				62%	
1 - 2				17,6		1 281		2 011				64%	
2 - 3				17,5		225		1 997				11%	
3 - 4				-14,4		174		174				100%	
4 - 5				-14,5		160		172				93%	
5 - e				-14,7		138		169				82%	
Kondenzační zóny:													
Číslo zóny						Od		Do				Mn. zkond. vodní páry	
[-]						[m]		[m]				[kg/(m².s)]	
1						0,185		0,185				2.29e-9	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:								M _{c,N}		0,100		kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:								M _c		0,020		kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:								M _{ev}		0,020		kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:								aktivní					
Hodnocení:		Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry											
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.													
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:													
Měsíc	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. rozhraní				Vzdálenost od vnitřního povrchu						x	0,1850	m	
g _c	[kg/m²]	0,000	0,003	0,003	0,004	0,003	-0,001	-0,003	-0,008	-0,001	0,000	0,000	0,000
M _a	[kg/m²]	0,000	0,003	0,006	0,010	0,012	0,012	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Povrchová kondenzace													
M _a	[kg/m²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkem													
M _a	[kg/m²]	0,000	0,003	0,006	0,010	0,012	0,012	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Maximální roční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci									M _{c,N}		0,100	kg/(m².a)	
Maximální množství kondenzátu v konstrukci									M _c		0,012	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:									aktivní				
Hodnocení:		V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry v průběhu roku, která se v příznivějších měsících vypaří. Maximální množství kondenzátu splňuje požadavky ČSN 73 0540-2.											

PŘÍLOHA D.5 – SKLADBA S02 (DLE EXPERIMENTU)



STR-5: Skladba - PVC-P + EPS (experiment)													
Vnitřní konstrukce:							NE						
Charakter konstrukce:							Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)						
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:							NE						
Konstrukce ve styku se zeminou:							NE						
Součinitel prostupu tepla stanoven:							výpočtem						
Skladba konstrukce od interiéru:													
č.	Název vrstvy		Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost		Faktor dif. odporu				
-	-		d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ					
-	-		[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]					
1	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB		0,0220	0,150	-	1 580	630	200,0					
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA		0,0030	0,210	-	1 470	1 400	29 000,0					
3	Polystyren pěnový, EPS		0,1600	0,038	-	1 270	20	25,0					
4	DEKPLAN 76		0,0015	0,160	-	960	1 400	15 000,0					
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)							R _{si}	0,25	0,10	m².K/W			
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)							R _{se}	0,04	0,04	m².K/W			
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota							θ _i	20,0	°C				
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:							θ _{ai}	20,6	°C				
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:							φ _i	50	%				
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:							Δφ _i	5	%				
Návrhová teplota venkovního vzduchu:							θ _e	-15,0	°C				
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:							φ _e	84	%				
Nadmořská výška budovy (terénu):							h	227	m.n.m.				
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	
θ _{e,m}	[°C]	-1,6	3,0	9,5	12,4	20,3	26,2	24,8	24,9	14,3	9,3	3,9	0,0
φ _{e,m}	[%]	63	72	60	53	51	41	48	47	61	66	77	66
θ _{i,m}	[°C]	21,2	21,5	20,8	20,7	21,1	21,9	22,0	21,8	21,3	20,3	21,1	20,4
φ _{i,m}	[%]	51	54	53	51	58	62	66	65	56	58	57	56
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; θ _{e,m} ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; φ _{e,m} ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; θ _{i,m} ... průměrná návrhová vnitřní teplota; φ _{i,m} ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.													



Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:													
Korekce součinitele prostupu tepla:					ΔU	0,000	W/(m².K)						
Odpor při prostupu tepla:					R _T	4,521	m².K/W						
Součinitel prostupu tepla:					U	0,221	W/(m².K)						
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:					U _N	0,24	W/(m².K)						
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:					U _{rec}	0,16	W/(m².K)						
Hodnocení:		Konstrukce STR-5: Skladba - PVC-P + EPS (experiment) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.											
Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:													
Teplotní faktor vnitřního povrchu:					f _{Rsi}	0,946	-						
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:					f _{Rsi,N,80}	0,747	-						
Povrchová teplota konstrukce:					θ _{si}	18,7	°C						
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:					θ _{si,min,80}	11,6	°C						
Hodnocení:		Konstrukce STR-5: Skladba - PVC-P + EPS (experiment) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.											
Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:													
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
θ _{si,min,80}	[°C]	13,93	15,15	14,35	13,71	15,84	17,76	18,79	18,56	15,66	15,09	15,61	14,65
f _{Rsi,min,80}	[-]	0,681	0,657	0,429	0,158	0,000	1,000	1,000	1,000	0,195	0,527	0,681	0,718
Pozn.: θ _{si,min,80} ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; f _{Rsi,min,80} ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.													
Kritický měsíc:									7	-			
Teplotní faktor vnitřního povrchu:								f _{Rsi}	0,946	-			
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:								f _{Rsi,N,80}	1,000	-			
Hodnocení:		Konstrukce STR-5: Skladba - PVC-P + EPS (experiment) nesplňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.											

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	18,7	1 334	2 155	62%	
1 - 2	17,6	1 280	2 009	64%	
2 - 3	17,5	222	1 995	11%	
3 - 4	-14,6	171	171	100%	
4 - e	-14,7	138	169	82%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od		Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]		[m]	[kg/(m².s)]	
1	0,185		0,185	2.07e-9	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:			M _{c,N}	0,100	kg/(m².a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:			M _c	0,008	kg/(m².a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:			M _{ev}	0,085	kg/(m².a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:			aktivní		
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:					
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:				aktivní	
Hodnocení:	Konstrukce bez vnitřní kondenzace.				

PŘÍLOHA D.6 – SKLADBA S03 (DLE EXPERIMENTU)

STR-6: Skladba - PVC-P + PIR (experiment)													
Vnitřní konstrukce:							NE						
Charakter konstrukce:							Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)						
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:							NE						
Konstrukce ve styku se zemínou:							NE						
Součinitel prostupu tepla stanoven:							výpočtem						
Skladba konstrukce od interiéru:													
Č.	Název vrstvy		Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost		Faktor dif. odporu				
-	-		d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ					
-	-		[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]					
1	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB		0,0220	0,150	-	1 580	630	200,0					
2	TOPDEK AL BARRIER		0,0022	0,210	-	1 470	1 400	280 000,0					
3	TOPDEK 022 PIR		0,1600	0,022	-	1 400	32	60,0					
4	DEKPLAN 76		0,0015	0,160	-	960	1 400	15 000,0					
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)							R _{si}	0,25	0,10	m².K/W			
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)							R _{se}	0,04	0,04	m².K/W			
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota							θ _i	20,0	°C				
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:							θ _{ai}	20,6	°C				
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:							φ _i	50	%				
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:							Δφ _i	5	%				
Návrhová teplota venkovního vzduchu:							θ _e	-15,0	°C				
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:							φ _e	84	%				
Nadmořská výška budovy (terénu):							h	227	m.n.m.				
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	
θ _{e,m}	[°C]	-4,8	1,6	8,4	9,4	16,8	21,6	21,5	22,4	14,1	11,0	5,2	0,0
φ _{e,m}	[%]	77	79	64	62	56	51	58	54	74	76	80	82
θ _{i,m}	[°C]	20,4	20,5	20,6	20,5	21,8	24,2	24,3	24,0	22,7	21,0	20,6	20,4
φ _{i,m}	[%]	52	59	55	55	54	52	57	57	59	62	60	60
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; θ _{e,m} ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; φ _{e,m} ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; θ _{i,m} ... průměrná návrhová vnitřní teplota; φ _{i,m} ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.													

Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:																
Korekce součinitele prostupu tepla:							ΔU	0,000	W/(m².K)							
Odpor při prostupu tepla:							R _T	7,579	m².K/W							
Součinitel prostupu tepla:							U	0,132	W/(m².K)							
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:							U _N	0,24	W/(m².K)							
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:							U _{rec}	0,16	W/(m².K)							
Hodnocení:		Konstrukce STR-6: Skladba - PVC-P + PIR (experiment) splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.														
Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:																
Teplotní faktor vnitřního povrchu:							f _{Rsi}	0,968	-							
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:							f _{Rsi,N,80}	0,747	-							
Povrchová teplota konstrukce:							θ _{si}	19,4	°C							
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:							θ _{si,min,80}	11,6	°C							
Hodnocení:		Konstrukce STR-6: Skladba - PVC-P + PIR (experiment) splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.														
Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:																
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:																
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
θ _{si,min,80}	[°C]	13,58	15,58	14,71	14,59	15,58	17,17	18,83	18,58	17,87	16,91	16,00	15,75			
f _{Rsi,min,80}	[-]	0,729	0,740	0,517	0,467	0,000	0,000	0,000	0,000	0,439	0,591	0,701	0,772			
Pozn.: θ _{si,min,80} ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; f _{Rsi,min,80} ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.																
Kritický měsíc:										12	-					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:									f _{Rsi}	0,968	-					
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:									f _{Rsi,N,80}	0,772	-					
Hodnocení:		Konstrukce STR-6: Skladba - PVC-P + PIR (experiment) splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.														

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	19,4	1 334	2 258	59%	
1 - 2	18,8	1 326	2 165	61%	
2 - 3	18,7	187	2 159	9%	
3 - 4	-14,8	168	168	100%	
4 - e	-14,8	138	168	83%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od		Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]		[m]	[kg/(m².s)]	
1	0,184		0,184	1.24e-10	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:			M _{c,N}	0,100	kg/(m².a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:			M _c	0,000	kg/(m².a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:			M _{ev}	0,083	kg/(m².a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:			aktivní		
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:					
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:				aktivní	
Hodnocení:	Konstrukce bez vnitřní kondenzace.				

E – FOTODOKUMENTACE



Obr. 79. Průběh při pokládání PIR desek



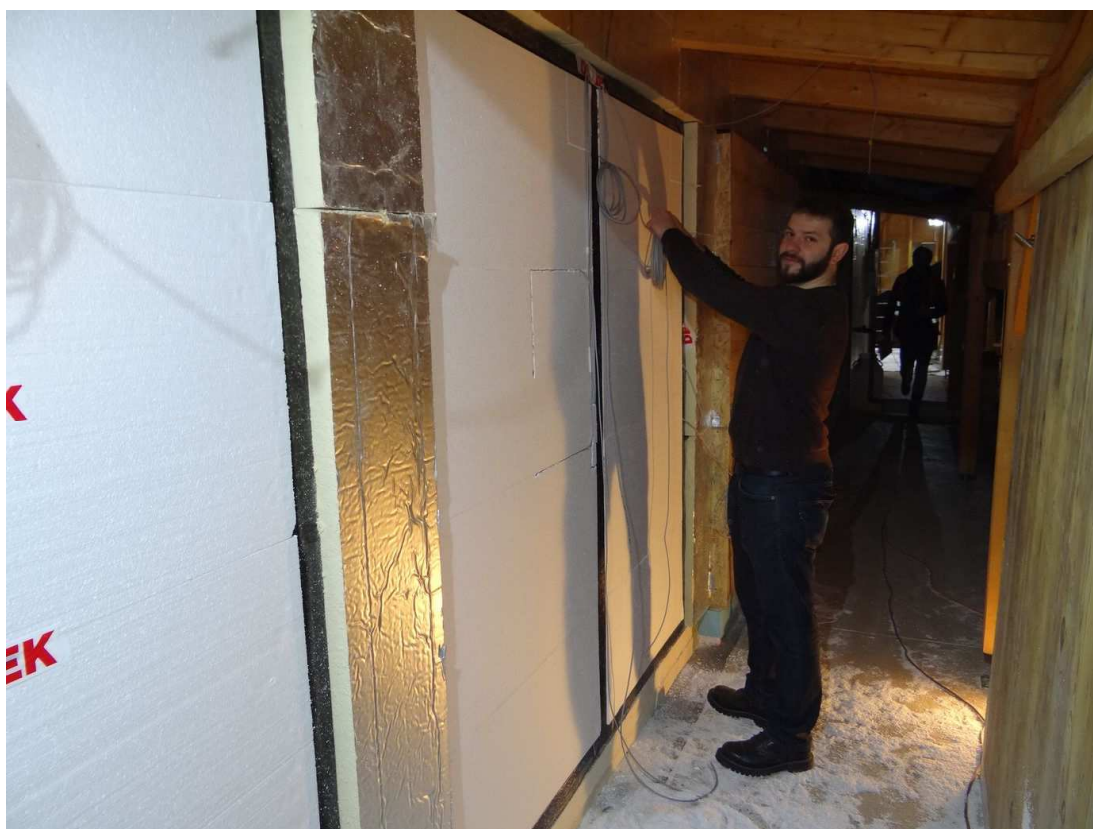
Obr. 80. Výsledné modely modelů skladeb S01, S02 a S03



Obr. 71 Průběh montáže modelu S05



Obr. 72 Průběh montáže modelu S05



Obr. 73 Instalace teplotně vlhkostních čidel v modelu skladby S05



Obr. 74 Průběh montáže modelu S04



Obr. 75 Průběh montáže modelu S04



Obr. 76 Průběh montáže modelu S05



Obr. 77 Průběh montáže modelu S05

F – VÝKRESOVÁ ČÁST

PŘÍLOHA F.1–PŮDORYS KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU

PŘÍLOHA F.2–PŮDORYS A ŘEZY PLOCHÉ STŘECHY

PŘÍLOHA F.3–DETAIL A-NAPOJENÍ HI U ATIKY

PŘÍLOHA F.4–DETAIL B-NAPOJENÍ VTOKU

PŘÍLOHA F.5–DETAIL C-NAPOJENÍ HI NA STĚNU

PŘÍLOHA F.6–DETAIL D-OKAPNÍ HRANA PLOCHÉ STŘECHY

PŘÍLOHA F.7–DETAIL E-ODVĚTRÁNÍ KANALIZACE

PŘÍLOHA F.8–VÝPIS SKLADEB